

**ALMA MATER STUDIORUM UNIVERSITA' di BOLOGNA**

---

**Dottorato di ricerca in Colture Erbacee AGR/02**

**XIX Ciclo 2003 - 2006**

# **Sperimentazione e modellizzazione della fenologia di colture erbacee**

## **Il caso di studio nella stazione Agrofenologica di Cadriano**

Coordinatore del Dottorato

***Prof. Giovanni Toderi***

Tutore del Dottorato

***Dr. Francesca Ventura***

Dottorando

***Dr. Simon Traini***



---

**Facoltà di Agraria**

**Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali**



**Dottorato di ricerca in Colture Erbacee AGR/02**

**XIX Ciclo 2003 - 2006**

# **Sperimentazione e modellizzazione della fenologia di colture erbacee**

**Il caso di studio nella stazione  
Agrofenologica di Cadriano**

Coordinatore del Dottorato

***Prof. Giovanni Toderi***

Tutore del Dottorato

***Dr. Francesca Ventura***

Dottorando

***Dr. Simon Traini***

# INDICE

## **Capitolo 1** *Introduzione*

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Cos'è la fenologia</b>	<b>2</b>
1.1.1	L'osservazione fenologica	2
1.1.2	Come interpretare l'agrofenologia: la scala BBCH	4
<b>1.2</b>	<b>Temperature e fenologia</b>	<b>12</b>
1.2.1	Temperature, fotoperiodo e vernalizzazione	16
1.2.2	Temperatura ed agricoltura: le somme termiche	19
<b>1.3</b>	<b>Necessità di simulare: i modelli fenologici</b>	<b>27</b>
1.3.1	Modello fenologico utilizzato: ARPA-SIM modificato	30
	• <i>Elaborazione dei dati meteorologici all'interno del modello ARPA</i>	33
	• <i>Sviluppo dei modelli fenologici: frumento e mais</i>	34
	• <i>Calibrazione e Validazione</i>	37
	• <i>Analisi di sensibilità</i>	39
<b>1.4</b>	<b>Cereali</b>	<b>42</b>
1.4.1	Frumento	42
	• <i>Storia del frumento</i>	42
	• <i>Areali di coltivazione e periodo di sviluppo dei frumenti</i>	43
	• <i>Descrizione dello sviluppo fenologico</i>	44
	• <i>Frumento tenero: un mercato mondiale secondo solo al mais</i>	45
	• <i>Il mercato mondiale del frumento duro</i>	48
1.4.2	Orzo	52
	• <i>Storia e curiosità</i>	52

• <i>Areali di coltivazione dell'orzo</i>	53
• <i>Considerazioni botaniche e periodo di sviluppo della coltura</i>	54
• <i>Il mercato mondiale dell'orzo</i>	54
<b>1.4.4 Avena</b>	<b>56</b>
• <i>Cenni storici</i>	56
• <i>Areali produttivi, mercato ed utilizzo</i>	56
• <i>Caratteristiche botaniche</i>	59
• <i>Ciclo biologico</i>	62
<b>1.4.5 Mais</b>	
• <i>Introduzione generale sul Mais</i>	64
• <i>Origini e cenni storici della coltura</i>	65
• <i>Utilizzazione del mais</i>	67
• <i>Descrizione botanica</i>	68
• <i>Caratteristiche nutrizionali</i>	71
• <i>Sviluppo fenologico</i>	73
• <i>Mercato mondiale attuale del mais</i>	74

## **Capitolo 2** *Scopo della tesi*

<u>2.1 Scopo della tesi</u>	<u>77</u>
-----------------------------	-----------

## **Capitolo 3** *Materiali & Metodi*

<u>3.1 La stazione agrofienologica di Cadriano</u>	<u>79</u>
<u>3.2 Descrizione dei rilievi agrofienologici nelle colture erbacee</u>	<u>82</u>
<u>3.3 Rilievi biometrici</u>	<u>84</u>



3.4 Come collezionare i dati di una stazione fenologica	86
---	----

3.5 Stazione agrometeorologica di Cadriano	90
--	----

## **Capitolo 4** *Risultati*

4.1 Descrizione meteorologica dell'area: andamenti termici a confronto	92
--	----

4.2 Frumento duro	97
-------------------	----

4.2.1 Risultati e descrizione fenologica	97
4.2.2 Modello delle somme termiche mediante gradigiorno	101
4.2.3 Risultati dei rilievi biometrici	104
4.2.4 Le atipiche condizioni climatiche dell'inverno 2007: la risposta fenologica del frumento	107

4.3 Frumento tenero	114
---------------------	-----

4.3.1 Risultati e descrizione fenologica	114
4.3.2 Modello delle somme termiche mediante gradigiorno	119
4.3.3 Risultati dei rilievi biometrici	121

4.4 Orzo	123
----------	-----

4.4.1 Risultati fenologici e considerazioni termiche	123
4.4.2 Risultati dei rilievi biometrici	129

4.5 Avena	131
-----------	-----

4.5.1 Risultati fenologici e considerazioni termiche	131
4.5.2 Risultati biometrici	135

4.6 Mais	138
----------	-----

4.6.1 Risultati e descrizione fenologica	138
4.6.2 Modello delle somme termiche mediante gradigiorno	143
4.6.3 Risultati dei rilievi biometrici	143

4.7 Visibilità dei risultati	145
4.7.1 Il report fenologico	145
4.7.2 Il bollettino agrofenologico settimanale	147
4.8 Risultati della modellistica	148
4.8.1 Cereali vernini	148
4.8.2 Mais	151

## ***Capitolo 5*** *Conclusioni*

5 Conclusioni	155
---------------	-----

## ***Capitolo 6*** *Bibliografia*

6 Bibliografia	157
----------------	-----

## ***Capitolo 7*** *Riferimenti WEB*

7 Riferimenti WEB	165
-------------------	-----

## ***Appendice***

<u>A- Bollettino agrofenologico del 5 giugno 2006</u>
---

## 1. Introduzione

La meteorologia applicata trova nell'agricoltura il settore potenzialmente più esigente. Non vi è infatti altra attività umana, i cui risultati dipendano così grandemente dal succedersi degli eventi atmosferici (R.Barbieri et al., 1989).

La fenologia è una branca della bioclimatologia, che si occupa dello studio dei ritmi biologici, delle cause e dei ritmi stessi in relazione alla concorrenza delle componenti biotiche e abiotiche e delle interrelazioni tra fasi nella stessa o in diverse specie. La fenologia vegetale è la scienza che studia i rapporti che intercorrono tra i fattori climatici connessi con il succedersi delle stagioni e con il ciclo delle specie vegetali. I cicli stagionali e periodici delle piante (emergenza, fioritura, maturazione dei frutti, viraggio delle foglie) sono definiti fasi fenologiche o fenofasi (Defila e Conedera, 2000). Ai diversi stadi di sviluppo, individuabili morfologicamente, corrispondono modifiche delle condizioni fisiologiche, tra cui: i cambiamenti del contenuto di acqua dei tessuti e delle riserve di carboidrati e la maturità delle strutture riproduttive della pianta.

Tuttavia, solo una piccola parte di problemi "agrometeorologici" può essere risolta utilizzando unicamente dati e prodotti meteorologici; in altre parole l'effetto del tempo meteorologico sulle colture non è determinabile osservando unicamente il tempo stesso.

Si deve quindi procedere parallelamente alle misure e osservazioni meteorologiche ai rilievi e registrazione periodica di parametri biologici e fisici relativi alle piante coltivate e spontanee, al suolo, agli animali, ecc. I dati ottenuti permettono in seguito di analizzare, descrivere e quantificare le relazioni esistenti tra l'andamento dei singoli parametri meteorologici (pioggia, temperatura, umidità, radiazione solare, ecc.) e la crescita e lo sviluppo di colture ed animali.

In agricoltura il dominio di queste osservazioni è divisibile in due aggettivi: "agricolo" e "fenologico", i quali combinati nell'insieme producono la parola agrofenoologia.

La parola fenologia deriva dal greco "phaino" che significa apparire e "logos" che significa discorso. La stazione fenologica è il luogo dove si effettuano le osservazioni; il fenoide è una singola pianta oggetto delle osservazioni; la fenofase è lo stadio di sviluppo o fase fenologica di una pianta (fenoide); l'unità di osservazione rappresenta ciò che viene osservato dal rilevatore per giungere alla attribuzione dello stadio fenologico o fenofase, essa può coincidere con il fenoide (la pianta *in toto*) oppure con parti di essa (singoli rami, infiorescenze, ecc) e infine la chiave fenologica è una guida per il riconoscimento delle diverse fenofasi.



## **1.1 Cos'è la Fenologia**

### **1.1.1 L'osservazione fenologica**

L'osservazione fenologica in agricoltura è nata con l'agricoltura stessa; la sua organizzazione scientifica risale al XIX secolo, ma ben più antiche sono le sue applicazioni per lo studio delle interazioni tra clima e piante: si pensi alla serie storica giapponese sulla fioritura del ciliegio, che prende avvio da prima dell'anno mille (Botarelli et al., 2006).

Fin d'allora la fenologia ha rappresentato lo stimolo per indagare i più nascosti meccanismi della vita: è dall'osservazione dei mutamenti visibili, le fasi fenologiche, che sono nate le domande sull'origine e sulle conseguenze di quei cambiamenti.

Il rilevamento fenologico deve essere rappresentativo dello sviluppo di ciascuna specie e cioè deve permettere di descrivere la sequenza degli eventi fenologici nei suoi tratti essenziali, inoltre deve essere obbiettivo, soprattutto nel caso in cui si deve far fede ad un network fenologico in cui è fondamentale il confronto dei dati provenienti da diversi rilevatori.

Il rilevamento deve permettere di valutare la variabilità fenologica tra piante della stessa specie, in modo da poter sottoporre i dati rilevati a confronti statistici: per questa ragione nei giardini e nelle stazioni fenologiche vengono coltivati e osservati più esemplari di ogni specie.

L'oggetto del rilevamento fenologico è la singola pianta (fenoide), che nel metodo qui adottato coincide con l'unità di osservazione.

I rilievi si effettuano mediante chiavi e schede di rilevamento appositamente preparate. La periodicità dei rilievi dovrebbe seguire la velocità di sviluppo fenologico delle specie da osservare, in modo da avere almeno una osservazione per ogni fenofase; per motivi di ordine pratico però si è convenuto di effettuare rilievi con periodicità fissa settimanale durante tutto il periodo vegetativo: i rilievi settimanali infatti garantiscono un monitoraggio pressoché completo delle fenofasi di tutte le specie.

Nei casi in cui il passaggio da una fenofase all'altra sia più rapido della periodicità di rilievo, è sempre possibile ottenere una stima della data di comparsa delle fenofasi mancanti mediante interpolazione dei dati.

Per effettuare i rilievi ci si serve di chiavi fenologiche e schede di rilevamento con fenofasi consecutive: cioè tutto il ciclo fenologico viene suddiviso in intervalli, e a ciascun intervallo corrisponde una fenofase; ne consegue che in qualunque momento dell'anno è possibile attribuire una fenofase alla pianta osservata e quindi si possono effettuare rilevamenti a cadenza regolare (settimanale).

Nella preparazione delle chiavi si tiene conto della variabilità fenologica all'interno delle singole piante, affinché la scalarità delle manifestazioni fenologiche entro gli individui non crei dubbi e diversità di interpretazione nei rilevatori.

L'obiettività del metodo di rilevamento, requisito indispensabile per poter confrontare i dati, viene conseguita con una opportuna scelta delle fenofasi da osservare, corredate da una descrizione precisa e dettagliata e da immagini fotografiche che facilitino il rilevamento.

Dalle osservazioni fenologiche si avviano i percorsi di selezione delle nuove varietà adatte alla coltivazione, individuando visivamente gli aspetti che marcano le qualità produttive o di resistenza: ad esempio l'esame del ciclo fenologico permette di capire l'idoneità della varietà a sfuggire ai periodi di stress idrico, evitare le gelate tardive o i colpi di calore.

Tecnicamente un'osservazione fenologica trova spunto nell'analisi fenotipica di una specie vegetale e la sua bontà risulterà tanto più elevata quanto meno si cambi nel corso degli anni l'occhio del rilevatore.

E' di fondamentale importanza infatti essere il più obiettivo possibile, oggettività che nella fenologia è a stretta dipendenza dal quadro individuale interpretato dal rilevatore in ogni singola annata agraria. Da tale falso paradosso nasce il rilievo fenologico vero e proprio: si è tanto più precisi ed obiettivi quanto più si rileva quello che effettivamente il rilevatore dal suo punto di vista riesce a vedere.

Quindi un rilievo effettuato ogni anno sulla stessa varietà di una stessa specie, sempre dallo stesso rilevatore, sarà un rilievo fortemente attendibile e che potrà essere valutato per la calibrazione di eventuali modelli fenologici.

Infatti, in una serie di dati fenologici di tre anni rilevati da tre osservatori diversi, la soggettività della percezione agrofenologica, che è strettamente correlata alle conoscenze botaniche e alla intuitività di una persona risulterà produrre un errore nel rilievo piuttosto importante.

Dopo aver delineato l'importanza del succedersi di uno stesso rilevatore nel tempo, ci si chiede quali siano le caratteristiche e le abilità di un rilevatore agrofenologico. Alla base deve esistere una buona conoscenza della botanica e delle pratiche agronomiche proprie di ogni specie da esaminare.

Per la formazione di un buon osservatore fenologico si dovrebbe *in primis* essere accostati da un tecnico di campo od un agricoltore con la sua esperienza, in modo da crearsi un proprio campo visivo, definire dei *range* d'osservazione entro i quali esso stesso potrà spaziare e calibrare le sua considerazione fenologica.

In questo modo i margini d'errore tenderanno ad abbassarsi ed il rilevatore in poco tempo sarà già pronto ad operare nel migliore dei modi.

La fase di formazione dovrà essere coadiuvata da una buona conoscenza botanica, in modo che le fasi di transizione, di passaggio da uno stadio fenologico all'altro, in cui si ha la differenziazione degli organi di una pianta, determini prontezza e chiarezza nella classificazione dello stadio di sviluppo.

La competenza agronomica, insieme alle conoscenze fitopatologiche, risultano di notevole importanza. Infatti perché un rilievo possa essere portato avanti nel tempo, è indispensabile che le piante campioni seguono il loro percorso biologico esenti da patologie che potrebbero alterare il loro ciclo colturale.

Quindi delle corrette scelte agronomiche, nelle concimazioni e nelle lavorazioni, delle profilassi fitosanitarie ben organizzate garantiscono e preservano una ottimale visibilità fenotipica degli organi interessati, agevolando di conseguenza delle considerazioni fenologiche.

### **1.1.2 Come interpretare l'agrofenologia: la scala BBCH**

La fenologia in agricoltura è una scienza molto articolata e necessita di chiavi di lettura che possano semplificare attraverso, un codice di classificazione, l'osservazione dello stadio fenologico. Prima di procedere ad un rilevamento fenologico in funzione ai propri obiettivi, è necessario valutare quale scala fenologica di riferimento sia meglio adottare.

Nel caso in cui si voglia descrivere l'andamento dello sviluppo fenologico di un insieme di piante, ovvero una coltura, oltre alle informazioni descrittive è necessario disporre anche di dati quantitativi sul numero di individui che si trovano in quella fase. L'attribuzione di un determinato stadio fenologico ad un insieme di esemplari potrà dipendere da:

- la prevalenza gerarchica degli stadi, ossia nel caso in cui all'interno del campione osservato si rivelino diversi stadi fenologici concomitanti, viene considerato solo quello di ultima comparsa;
- la prevalenza numerica degli individui, ovvero lo stadio più recente che interessi oltre il 50% delle unità di osservazione;
- il raggiungimento per l'ultima fenofase di una soglia minima di unità rilevate, ad esempio: superiore al 25% della popolazione.

Se di una coltura si vuole rappresentare la gradualità dello sviluppo dei singoli individui, ad ogni rilevamento è bene riportare tutte le fenofasi presenti in campo, accompagnate dalla loro classe di appartenenza (la percentuale di individui che le presentano).

Una delle scale più efficienti e più utilizzate internazionalmente è la BBCH. Si tratta di una scala centesimale, strutturata per essere impiegata nella descrizione di qualsiasi pianta monocotiledone o dicotiledone. E' importante tener presente che ogni scala fenologica è costituita da un insieme di stadi,



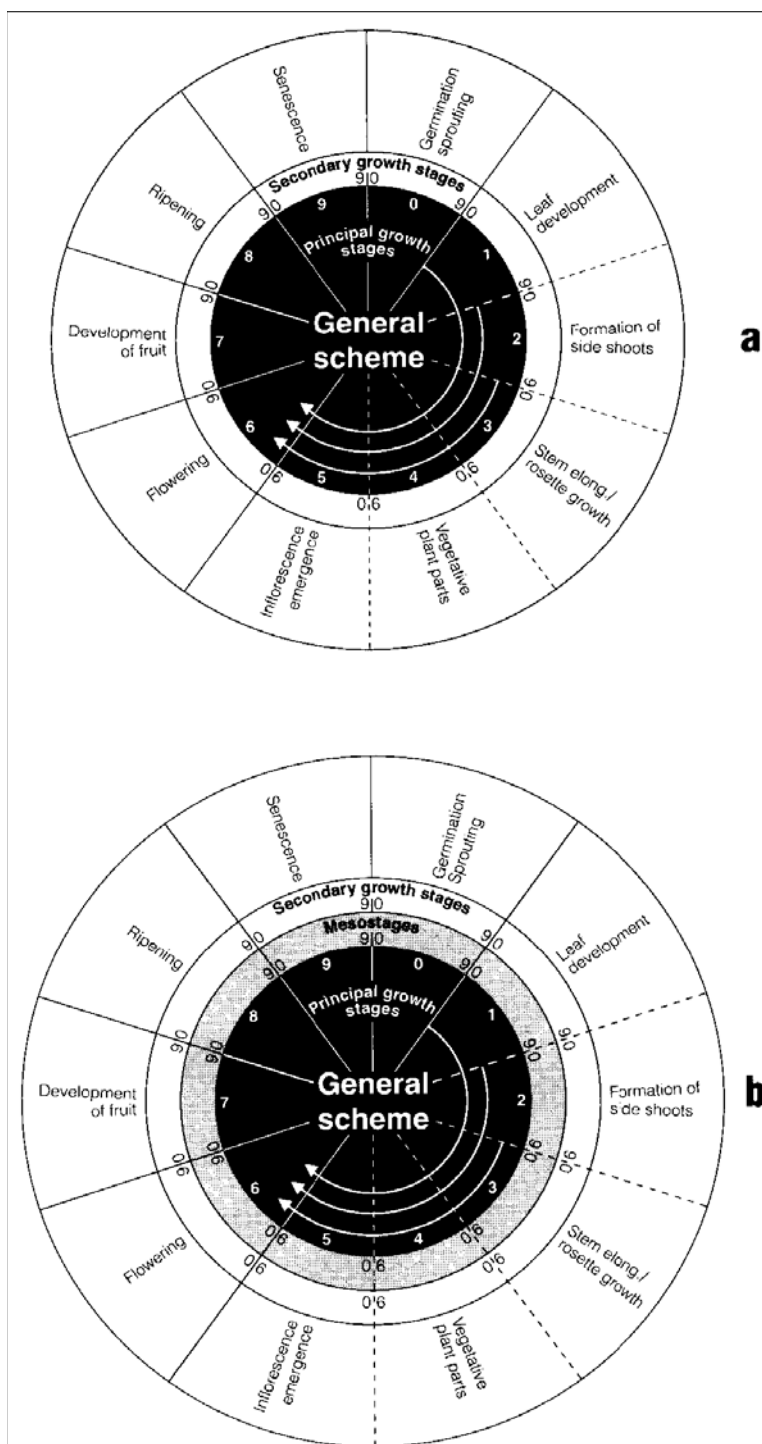
ognuno dei quali descrive un preciso momento di sviluppo di una pianta o di un suo organo. L'informazione di tipo descrittivo su un determinato stadio fenologico può contenere un aspetto quantitativo.

La scala BBCH - **B**iologische Bundesanstalt, **B**undessortenamt and **C**hemical Industry (Compendium of Growth Stage Identification Keys for Mono - and Dicotyledonous Plants - Extended BBCH scale; 2nd Edition, 1997) è un sistema ideato per codificare uniformemente stadi fenologici di sviluppo analoghi, osservabili sia in specie monocotiledoni che dicotiledoni. La sua struttura può includere tutte le scale già esistenti ed è possibile utilizzarla anche per tutte quelle specie per cui attualmente non sono disponibili scale apposite. La scala è scaturita da un lavoro di gruppo tra: il German Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA), il German Federal Office of Plant Varieties (BSA), la German Agrochemical Association (IVA) e l'Institute for Vegetables and Ornamentals in Grossbeeren/Erfurt, Germany (IGZ).

La BBCH, che si basa sulla ben conosciuta scala di Zadoks et. al. (1974), è divisa in stadi di sviluppo primari e secondari. Ogni stadio viene indicato tramite un codice composto da due cifre. Inoltre, la scala si fonda su alcuni principi base, elencati qui di seguito.

- L'intero ciclo biologico delle piante è suddiviso in dieci stadi di sviluppo principali, indicati con i numeri da 0 a 9 (figure 1.1a e 1.1b; tabella 1.1).
- All'interno degli stadi principali possono essere individuati degli stadi secondari che definiscono momenti di sviluppo molto brevi. Come gli stadi principali sono indicati usando i numeri da 0 a 9. Gli stadi di sviluppo secondari corrispondono ai rispettivi numeri ordinali o a valori percentuali. Per esempio lo stadio 3 può rappresentare: la terza foglia, il terzo culmo, il terzo nodo, il 30% della lunghezza finale, il 30% della fioritura.
- Eseguendo un rilievo fenologico, se si osserva che due o più stadi di sviluppo principali procedono in parallelo, è possibile indicarli entrambi, utilizzando una linea obliqua (esempio 16/22 – sei foglie e due germogli laterali visibili). Se si vuol riportare un solo stadio di sviluppo, dovrà essere indicato quello la cui fase è maggiormente avanzata, oppure sarà indicato quello che presenta un maggiore interesse.
- Dalla combinazione dei numeri degli stadi di sviluppo principali e secondari, risulta un codice composto da due cifre che permette di definire precisamente gli stadi di sviluppo fenologico per la maggior parte delle specie vegetali.
- Nel caso di alcune specie come il cetriolo, la cipolla, la patata, la soia e il pomodoro è possibile utilizzare una scala a tre cifre. In questo caso la prima cifra è riferita allo stadio fenologico

principale, la seconda al fusto principale o all'ordine della ramificazione su cui si trova l'organo osservato, mentre la terza si riferisce al grado di sviluppo dell'organo, espresso come valore ordinale o come percentuale. Ad esempio, per la patata, lo stadio 631 indica che la fioritura (6) su una ramificazione laterale di 3° ordine (3) riguarda il 10% (1) dei fiori.



**Figura 1.1 (a, b)** - Suddivisione del ciclo di sviluppo delle piante in stadi principali e secondari (a) e in stadi principali, mesostadi e stadi secondari (b). I mesostadi sono inseriti tra gli stadi principali e quelli secondari.

- La semina o la messa a dimora delle piantine è codificata con 00.
- La post-raccolta o i trattamenti di stoccaggio sono codificati con 99.
- Se la scala è utilizzata per definire gli stadi di sviluppo di un campo coltivato, la descrizione dovrà essere applicabile almeno al 50% delle piante. La breve durata delle fasi di sviluppo in alcune piante può essere definita indicando due stadi. In questi casi due codici sono uniti da un trattino. Così, per esempio il codice 51-69 descrive una fase di sviluppo che va dalla comparsa della prima infiorescenza o del primo bocciolo florale fino alla fine della fioritura.

<b>Stadio</b>	<b>Descrizione</b>
0	Germinazione / germogliamento / sviluppo delle gemme
1	Sviluppo delle foglie (fusto principale)
2	Formazione dei germogli laterali / accestimento
3	Allungamento del fusto principale o crescita della rosetta / sviluppo del germoglio principale
4	Sviluppo delle parti vegetative che andranno raccolte o sviluppo degli organi per la propagazione vegetativa / stadio di botticella (culmo principale)
5	Emergenza delle infiorescenze (fusto principale) / spigatura
6	Fioritura (fusto principale)
7	Sviluppo dei frutti
8	Maturazione dei frutti e dei semi
9	Senescenza, inizio della dormienza

**Tabella 1.1** - Stadi principali di crescita

Le definizioni delle fasi fenologiche riportate nelle tabelle seguenti sono riferite ai seguenti gruppi di piante:

- Dicotiledoni, indicate con D
- Monocotiledoni, indicate con M
- Piante che si sviluppano da parti vegetative o da organi per la propagazione indicate, con V
- Graminacee, indicate con G
- Piante perenni, indicate con P



Stadio principale di crescita BBCH 0: germinazione, sviluppo delle gemme

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
00		Semina
	P,V	Dormienza invernale o periodo di riposo
01		Inizio dell'imbibizione dei semi
	P,V	Inizio del rigonfiamento delle gemme
03		Imbibizione dei semi completata
	P,V	Fine del rigonfiamento delle gemme
05		Emergenza della radichetta dal seme
	P,V	Formazione delle radici da organi perennanti
06		Allungamento della radice, formazione dei peli radicali e/o delle radici laterali
07	G	Fuoriuscita del coleoptile dalla cariosside
	D, M	Ipocotile con i cotiledoni o il germoglio rompono la parete esterna del seme
	P,V	Inizio del germogliamento o apertura delle gemme
08	D	Ipocotile con i cotiledoni crescono verso la superficie del terreno
	P,V	Crescita del germoglio verso la superficie del terreno
09	G	Emergenza: il coleoptile emerge attraverso la superficie del terreno
	D, M	Emergenza: il coleoptile emerge attraverso la superficie del terreno (con eccezione per la germinazione ipogea)
	D,V	Emergenza: germoglio/foglia emerge attraverso la superficie del suolo
	P	La gemma mostra la punta verde

Stadio principale di crescita BBCH 1: sviluppo delle foglie (fusto principale)

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
10	G	Prima foglia vera che emerge dal coleoptile
	D,M	Cotiledoni completamente dischiusi
	P	Prime foglie separate
11		Prima foglia vera, paio di foglie o verticillo dischiuso

	P	Prime foglie dischiuse
12		2 foglie vere, 2 paia di foglie o 2 verticilli dischiusi
13		3 foglie vere, 3 paia di foglie o 3 verticilli dischiusi
1.....		Gli stadi continuano fino a .....
19		9 o più foglie vere, 9 paia di foglie o 9 verticilli dischiusi

Stadio principale di crescita BBCH 2: formazione dei germogli laterali o accestimenti

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
21		Primo germoglio laterale visibile
	G	Primo culmo di accestimento visibile
22		2 germogli laterali visibili
	G	2 culmi di accestimento visibili
23		3 germogli laterali visibili
	G	3 culmi di accestimento visibili
2 .....		Gli stadi continuano fino a .....
29		9 o più germogli laterali visibili
	G	9 o più culmi di accestimento visibili

Stadio principale di crescita BBCH 3: allungamento del fusto principale o crescita della rosetta / sviluppo del germoglio principale

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
31		Fusto al 10% della lunghezza finale o rosetta al 10% del diametro finale
	G	1 nodo distinguibile
32		Fusto al 20% della lunghezza finale o rosetta al 20% del diametro finale
	G	2 nodi distinguibili
33		Fusto al 30% della lunghezza finale o rosetta al 30% del diametro finale
	G	3 nodi distinguibili
3 .....		Gli stadi continuano fino a .....
39		Raggiungimento della lunghezza massima del fusto o raggiungimento del diametro finale per la rosetta
	G	9 o più nodi distinguibili

Stadio principale di crescita BBCH 4: sviluppo delle parti vegetative che andranno raccolte o sviluppo degli organi per la propagazione vegetativa / stadio di botticella (culmo principale)

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
40		Le parti vegetative destinate alla futura raccolta o gli organi per la propagazione vegetativa iniziano a svilupparsi
41	G	Estensione della guaina della foglia a bandiera
43		Le parti vegetative destinate alla futura raccolta o gli organi per la propagazione vegetativa hanno raggiunto il 30% delle loro dimensioni finali
	G	La guaina della foglia a bandiera è appena visibilmente gonfia (stadio di media botticella)
45		Le parti vegetative destinate alla futura raccolta o gli organi per la propagazione vegetativa hanno raggiunto il 50% delle loro dimensioni finali
	G	La guaina della foglia a bandiera è rigonfia (stadio finale di botticella)
47		Le parti vegetative destinate alla futura raccolta o gli organi per la propagazione vegetativa hanno raggiunto il 70% delle loro dimensioni finali
	G	Apertura della guaina della foglia a bandiera
49		Le parti vegetative destinate alla futura raccolta o gli organi per la propagazione vegetativa hanno raggiunto le loro dimensioni finali
	G	Prime reste visibili

Stadio principale di crescita BBCH 5: emergenza delle infiorescenze (fusto principale) / spigatura

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
51		Infiorescenza o gemme fiorali visibili
	G	Inizio della spigatura
55		Primi fiori visibili (ancora chiusi)
	G	Emergenza di metà delle infiorescenze (metà spigatura)
59		Primi petali dei fiori visibili (nelle forme con petali)
	G	Emergenza completa delle infiorescenze (fine spigatura)

Stadio principale di crescita BBCH 6: fioritura (fusto principale)

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
60		Primi fiori aperti (sporadici)
61		Inizio della fioritura (10% dei fiori aperti)
62		20% dei fiori aperti
63		30% dei fiori aperti
64		40% dei fiori aperti
65		Piena fioritura: 50% dei fiori aperti, primi petali caduti
67		Termine della fioritura; la maggior parte dei petali sono caduti o disseccati
69		Fine della fioritura, allegagione visibile

Stadio principale di crescita BBCH 7: sviluppo dei frutti

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
71		Il 10% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 10% delle loro dimensioni finali
	G	Cariossidi in maturazione acquosa
72		Il 20% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 20% delle loro dimensioni finali
73		Il 30% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 30% delle loro dimensioni finali
	G	Inizio maturazione lattea
74		Il 40% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 40% delle loro dimensioni finali
75		Il 50% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 50% delle loro dimensioni finali
	G	Metà maturazione lattea
76		Il 60% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 60% delle loro dimensioni finali
77		Il 70% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto il 70% delle loro dimensioni finali
	G	Fine maturazione lattea
78		L'80% dei frutti ha raggiunto le dimensioni finali, oppure i frutti hanno raggiunto l'80% delle loro dimensioni finali
79		Quasi tutti i frutti hanno raggiunto le dimensioni finali

### Stadio principale di crescita BBCH 8: maturazione dei frutti e dei semi

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
81		Inizio della maturazione o della colorazione dei frutti
85		Maturazione avanzata o colorazione avanzata dei frutti
	G	Maturazione cerosa
87		I frutti cominciano ad ammorbidire (specie con frutti carnosi)
89		Piena maturazione: i frutti mostrano il colore della piena maturazione; inizio dell'abscissione dei frutti

### Stadio principale di crescita BBCH 9 : senescenza, inizio della dormienza

Codice	Gruppo	Descrizione dello stadio
91	P	Sviluppo del fusto completato, chioma ancora verde
93		Inizio della caduta delle foglie
95		50% delle foglie cadute
97		Fine della caduta delle foglie, la parte epigea delle piante è morta o dormiente
	P	Piante in riposo o dormienti
99		Prodotto raccolto

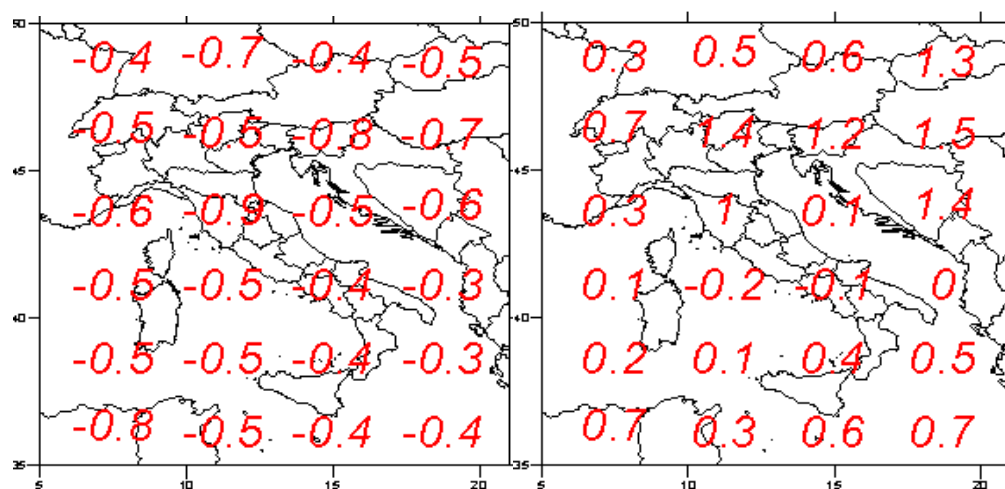
## 1.2 Temperature e fenologia

La fenologia vegetale e l'agrofenologia in particolare, sono in grado di fornire dati su diverse scale geografiche, che possono costituire indicazioni indirette dell'andamento climatico.

In una importante sintesi dei dati della rete fenologica europea IPG (International Phenological Gardens), pubblicata da Chmielewski et Rotzer (2001 e 2002), viene evidenziato l'andamento del periodo vegetativo in Europa nel trentennio dal 1969 al 1998, in base ad un indice calcolato su 4 specie (*Betula pubescens*, *Prunus avium*, *Sorbus aucuparia* e *Ribes alpinum*). Secondo questo studio, l'inizio della stagione vegetativa (BGS) compare in Europa mediamente in Aprile e si diffonde nel territorio europeo da Sud-Ovest verso Nord-Est, ad una velocità che, scomposta nelle due componenti risulta pari a: 44 chilometri al giorno da sud a nord e 200 chilometri al giorno da ovest ad est; mentre il gradiente fenologico altitudinale risulta essere di un giorno ogni 32 metri (Puppi, 2002).

Se si prendono in esame le regioni in cui la temperatura è un fattore limitante, si noterà che le temperature più elevate determineranno una maggiore durata del periodo favorevole ai processi di crescita e sviluppo, mentre causeranno una riduzione del periodo necessario per raggiungere la maturazione. Effetti, che più in generale varieranno da regione a regione e da coltura a coltura (Brouwer, 1988). Complessivamente, un aumento della temperatura media annuale di 2-3 gradi determinerà una più lunga stagione di crescita a latitudini alte (maggiori di 60°) e medio alte (fra 45° e 60°), mentre un maggiore riscaldamento, con relativo incremento del tasso evapotraspirativo, potrebbe limitare la stagione di crescita a latitudini medie e medio-basse. In sostanza, la risposta delle colture agrarie all'aumento della temperatura sarà un incremento o una diminuzione della produzione, a seconda che si tratti di una specie a ciclo determinato o indeterminato. Per questo motivo, l'attuale produzione sarà fortemente limitata sia dall'insufficiente riscaldamento, sia dall'aumento di temperatura, accompagnati da un incremento o da una diminuzione delle precipitazioni.

Se si prende in esame l'abbassamento delle temperature massime invernali, balza subito all'occhio l'analogia con la situazione italiana, soprattutto per quanto concerne la zona centrale del nostro paese. Tale calo della condizione termica, si può sostanzialmente ricondurre a un aumento della copertura nuvolosa mentre la diminuzione delle temperature massime medie in primavera è più contenuta rispetto a quella invernale e molto limitata nell'Italia meridionale. Anche questi dati sono da attribuirsi all'estensione della copertura nuvolosa. Quando si osservano questi fattori è essenziale tener presente che esistono delle leggere differenze tra i diversi scenari. Analizzando il periodo estivo, si nota che l'aumento delle temperature è consistente e molto diversificato da zona a zona e solo nel settore tirrenico, gli scenari registrano una tendenza alla diminuzione per effetto *feed-back* della nuvolosità.

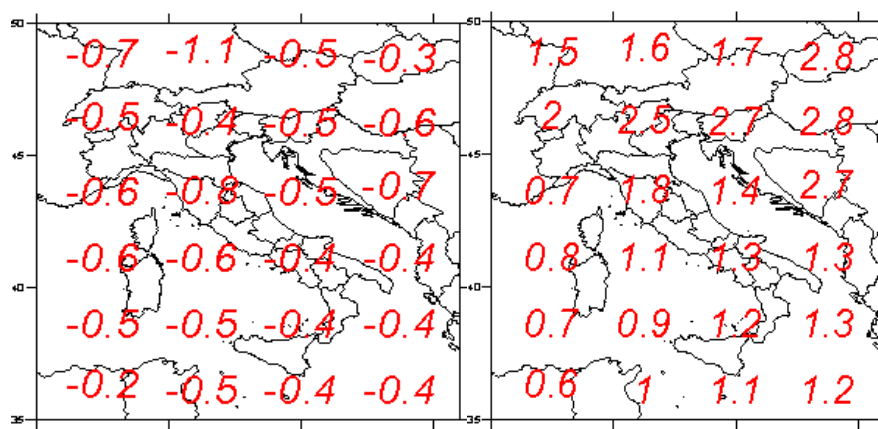


**Figura 1.2** - Forzanti medie temperatura massima media INVERNO (sinistra) ed ESTATE (destra)

L'autunno è la stagione più interessata all'aumento delle massime, a causa della maggior frequenza di condizioni meteorologiche, caratterizzate da flussi di aria calda meridionale, per crescita regionale dell'azione della cella di Hadley<sup>1</sup>. Questo riscaldamento risulta più forte nei settori orientali e continentali e minore in quelli occidentali.

L'insieme di questi fattori suggerisce un aumento del gradiente latitudinale della temperatura, in linea con le recenti tendenze climatiche osservate.

Se si analizzano gli orizzonti sul prossimo futuro, le temperature minime medie invernali (fig. 1.3) sono ipotizzate in diminuzione rispetto ad alcune regioni e in aumento per altre. Un fenomeno riconducibile, principalmente, all'incremento del gradiente latitudinale invernale. L'uniformità di risultati fra le varie ipotesi di scenario è dovuta al fatto che i processi fisici legati alla temperatura hanno inerzie temporali maggiori, rispetto ad altre variabili, verso il cambiamento climatico. Un dato, che forse rappresenta uno dei limiti del modello di Hadley. Le precedenti considerazioni, inserite in un contesto di stazionarietà delle medie, sono valide anche per quanto riguarda la primavera e l'inverno.



**Figura 1.3** - Forzanti medie temperatura minima media INVERNO (sinistra) e AUTUNNO (destra).

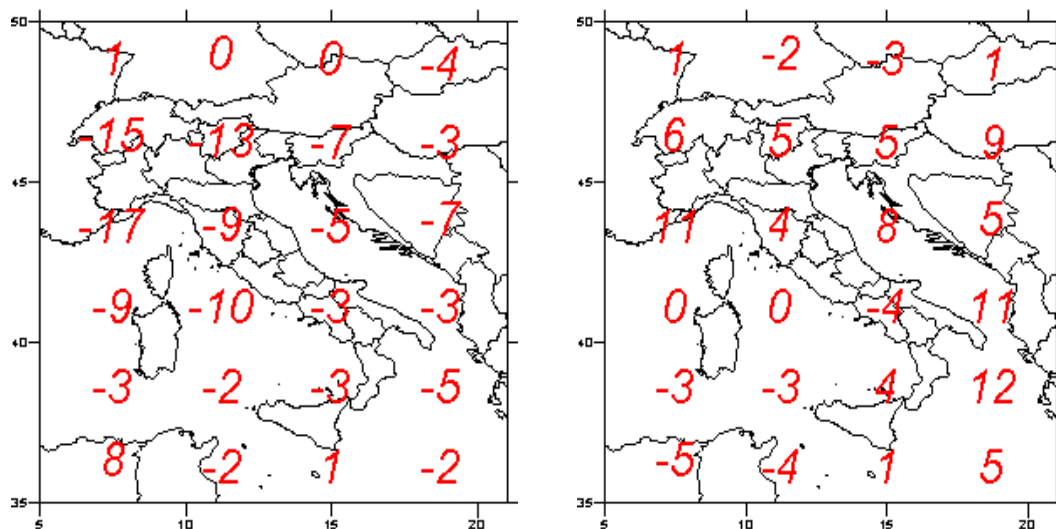
In estate, invece, le indicazioni fornite dai modelli per la temperatura rilevano una crescita generale più importante nelle aree di terraferma (fig. 1.2). Anche se generalmente, persiste la relativa uniformità di indicazione fornita dagli scenari.

L'autunno, considerato secondo i parametri termici nel periodo compreso tra i mesi di settembre, ottobre e novembre, si conferma la stagione che più risentirà del riscaldamento globale. Un dato che

<sup>1</sup> Una cella di convezione che prende il nome da George Hadley, lo scienziato inglese che nel 1735 descrisse correttamente la causa della circolazione atmosferica meridionale, spiegando il perché dell'esistenza degli alisei. La ragione di questo moto è da ricercarsi nel sollevamento dell'aria dalle zone equatoriali. Sollevamento, dovuto al forte riscaldamento solare e che richiama aria fredda dalle zone temperate. Il moto di rotazione della Terra genera la deviazione delle masse d'aria in moto. La Cella (o cellula) di Hadley risulta di fondamentale importanza nell'ambito della circolazione generale atmosferica, nonché nella comprensione delle varie tipologie di clima e habitat della zona torrida.

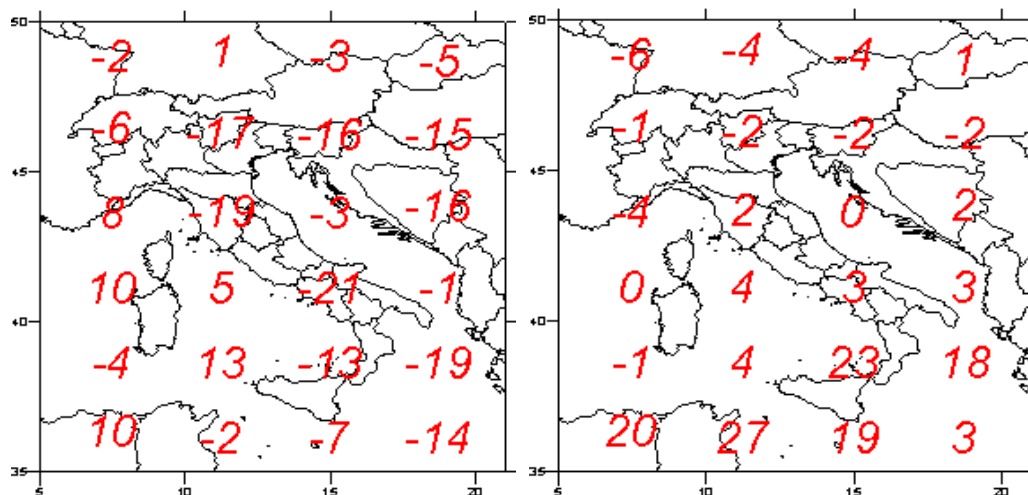


testimonia, come l'analisi stagionale sia più adatta ad illustrare le dinamiche climatiche, legate ai processi globali di cambiamento. A questo proposito, proprio le precipitazioni invernali saranno tra i fenomeni meteorologici che maggiormente risentiranno della diminuzione più forte, anche in risposta all'aumento estivo e autunnale. In questo caso, le forzanti sono qui espresse come variazioni percentuali medie, sempre rispetto alla climatologia 1960-1990.



**Figura 1.4** Forzanti medie precipitazioni cumulate INVERNO (sinistra) e PRIMAVERA (destra)

Mentre la diminuzione è più marcata nelle aree a clima continentale, gli aumenti sono previsti negli estremi settori meridionali dell'area presa in esame. In primavera si attesta una generale crescita nelle aree settentrionali ed orientali e una riduzione nei settori occidentali, con un gradiente del trend decrescente Nord-Sud (fig. 1.4). La diversità fra le due scadenze di scenario, 2015 e 2030, suggerisce un forte cambiamento del parametro climatico per questa stagione.



**Figura 1.5** - Forzanti medie precipitazioni cumulate ESTATE (sinistra) e AUTUNNO (destra)

L'elevato carico di energia del periodo estivo, dovuto ai maggiori flussi delle correnti meridionali, sembra generare un aumento del contributo di precipitazioni convettive su scala regionale, specie per scadenze più ravvicinate come il 2015. Un trend, quest'ultimo, che non sembra stabile per gli scenari Hadley ed è quindi preferibile parlare di un aumento della variabilità generale del parametro, soprattutto per quanto riguarda le regioni settentrionali.

La tendenza delle precipitazioni autunnali (fig. 1.5) sembra legata alle generali caratteristiche geografiche, del punto di rilevamento delle forzanti. Vanno inoltre segnalati gli incrementi per il centro Italia e nei settori Meridionali, viceversa nelle zone più occidentali, si intravede una generale tendenza alla diminuzione.

### **1.2.1 Temperature, fotoperiodo e vernalizzazione**

La ricerca svolta negli anni '80 e '90 in Europa, negli USA ed in Nuova Zelanda, ha contribuito in modo sostanziale ad approfondire i meccanismi che regolano lo sviluppo ontologico e fenologico del frumento (Kirby et al., 1985; Miglietta et al., 1989; Kirby et al., 1987; Loss et al., 1990; McMaster et al., 1991; Jamieson et al., 1995). Lo sviluppo delle strutture apicali di una pianta come il frumento, ha messo a fuoco la sequenza di eventi meristematici che presiedono al differenziamento e alla successiva formazione degli abbozzi fogliari e delle spighe (Kirby et al., 1985).

L'esistenza di relazioni ben evidenti fra i parametri ambientali (temperatura e fotoperiodo) ha generato una serie di formulazioni matematiche in grado di mettere in relazione fra loro ambiente e tasso di sviluppo della pianta (Baker & Gallagher 1983), ed il successivo approccio modellistico ha consentito, quindi, di mettere a punto e verificare sperimentalmente una serie di relazioni atte a simulare lo sviluppo della pianta nei diversi ambienti di coltivazione (Miglietta, 1991; Jamieson et al., 1995).

I più recenti approfondimenti, a cui il Progetto Phenagri ha dato un contributo sostanziale, hanno infine permesso di comprendere meglio il meccanismo che regola la complessa interazione fra pianta ed ambiente che è sostanzialmente alla base delle "fortune" della coltivazione di una specie vegetale che è stata in grado di adattarsi alle condizioni ambientali più disparate ed estendere il proprio areale di coltivazioni ai cinque continenti, dai climi continentali ed asciutti del Canada, al clima umido atlantico dell'Europa nord-occidentale, ai climi mediterranei temperati di Spagna, Francia, Italia e Grecia e a quelli siccitosi del Nord Africa e del Medio-Oriente. Per estendersi perfino quelli più dichiaratamente sub-tropicali del Messico.

L'aumento delle temperature influisce sulla ripresa vegetativa delle colture e gli studi realizzati nella Pianura Padana dimostrano una tendenza all'anticipo della ripresa vegetativa delle colture arboree e una tendenza ad anticipare il periodo di semina e di trapianto delle orticole di pieno campo e delle colture industriali.

Nell'ultimo decennio, i ripetuti danni causati da gelate tardive si sono verificati proprio in quegli anni che hanno registrato un significativo anticipo vegetativo, rispetto alla norma. Proprio per questi motivi, la conoscenza del rischio in base alle diverse aree, costituisce la base decisionale per una riduzione del pericolo, attuata mediante delle strategie di programmazione degli ordinamenti colturali, la selezione delle varietà più idonee e la messa a punto di tecniche adeguate di difesa.

L'adattamento di una coltura ai climi diversi che ne caratterizzano l'areale globale di coltivazione, è veramente straordinario. Ed il segreto di questo "successo" può essere ragionevolmente attribuito al meccanismo sofisticato che è alla base della risposta che lo sviluppo fenologico di questa specie ha a diversi fattori ambientali.

In massima sintesi, si può dire che la durata del periodo di crescita di coltura erbacea che va dalla germinazione ed emergenza alla fioritura e poi alla maturità è di fatto sotto il controllo di tre fattori fra loro indipendenti. Le temperature del suolo e dell'aria regolano in modo diretto la velocità di divisione cellulare nelle strutture meristematiche dell'apice vegetativo della pianta e la sequenza degli eventi più macroscopici che si realizzano in questa specie, ovvero la successiva emergenza delle foglie e poi delle strutture fiorali che danno luogo all'evento "spigatura" e poi "fioritura" della pianta.

L'apice vegetativo del frumento è già di fatto formato nella struttura embrionale della cariosside prima della germinazione, ed in esso sono presenti già almeno quattro abbozzi fogliari che cominciano il loro accrescimento subito dopo la germinazione del seme. La velocità con cui gli altri abbozzi vengono formati dipende in modo lineare dalla temperatura (Miglietta, 1989). Ad una temperatura di 10°C un abbozzo fogliare viene formato in periodo di circa 3.2 giorni mentre quando la temperatura arriva a 20°C, un nuovo abbozzo fogliare viene formato in circa la metà del tempo e cioè in circa 1.6 giorni. Questa dipendenza dalla temperatura è sostanzialmente uguale ad esempio per tutte le varietà di frumento coltivate siano esse adattate ai climi più freddi o più caldi del mondo (Miglietta, 1989).

Con lo stesso meccanismo, anche la velocità con cui le foglie appaiono visibili in successione sul culmo della pianta, emergendo dalla guaina della foglia precedente, è di fatto funzione lineare della temperatura. Ma qui entra in gioco anche un meccanismo ontogenetico che ha a che fare con la "forma" specifica che caratterizza ogni pianta di questa specie. Infatti ogni abbozzo fogliare che si forma sull'apice della pianta deve percorrere via via un "percorso" sempre più lungo per poter emergere. E'

stato calcolato che, a parità di temperatura, questo ritardo ontogenetico dell'emergenza fogliare aumenta di circa il 3% per ogni foglia successiva (Miglietta, 1991a).

Da un punto di vista fenologico, quindi, la temperatura fa aumentare il tasso di apparizione delle foglie attraverso un meccanismo in cui interviene anche una componente ontogenetica. Ma la durata del periodo germinazione-spigatura non dipende solo dalla velocità con cui le foglie appaiono sul culmo ma anche dal numero totale di abbozzi fogliari, e di foglie, che la pianta ha sviluppato (Kirby et al., 1985b). Assumendo infatti a scopo esemplificativo che la temperatura si mantenga costante a 20°C, una pianta che ha sviluppato sul suo culmo principale 9 foglie impiegherà proporzionalmente più tempo per completare il suo sviluppo di un'altra che ne ha sviluppato solo 7.

Da un punto di vista matematico il calcolo è abbastanza semplice e si riduce a due sole equazioni differenziali che portano ad una soluzione analitica:

$$dP/dt = -0.0308 + 0.0149 T^{\circ} \quad (1)$$

$$dL/dt = dP/dt (1-a L) \quad (2)$$

$$L = (1 - \exp (-a (P-P_0)) / a \quad (3)$$

dove  $dP/dt$  nell'equazione (1) è il tasso di formazione dei primordi fogliari che è stato sperimentalmente definito come funzione lineare della temperatura (Miglietta, 1989),  $a$  è il coefficiente definibile come "ritardo ontogenetico" che definisce il tasso di emissione delle foglie ( $dL/dt$ ) e che abbiamo già visto essere pari al 3% per ogni foglia successiva ed infine  $L$  è il numero finale delle foglie che vengono prodotte su culmo principale della pianta.

Il fotoperiodismo è in sostanza il primo responsabile del diverso numero di foglie (FLN) che possono essere prodotte da ogni culmo. E' ben noto infatti che il frumento è una specie "longidiurna" e che cioè produce un numero inferiore di foglie prima della spigatura, tanto più lunga è la durata delle ore di illuminazione (Brooking et al, 1995).

Le varietà di frumento dette fotoperiodiche producono, in "giorni lunghi", un numero molto basso di foglie che è in generale inferiore o uguale a 7, mentre in "giorni brevi" questo numero può diventare anche molto grande.

Una pianta cresciuta in condizioni estreme di "giorno breve" può anche non arrivare mai alla spigatura producendo un numero anormale di foglie. In condizioni di campo, non è raro, che una varietà di frumento a semina autunnale a latitudini elevate arrivi a produrre anche più di dodici foglie per culmo

(Kirby, 1985b). Così, in termini generali, se la temperatura accelera lo sviluppo, e cioè il tasso di emergenza delle foglie, il fotoperiodo interagisce, nello sviluppo, con la temperatura determinando il numero totale di foglie che vengono prodotte.

La vernalizzazione, infine, gioca un ruolo fondamentale di regolazione. Scoperta dalla scuola russa di Lysenko, la vernalizzazione può essere definita come un meccanismo complesso che rende una data varietà di frumento sensibile od insensibile al fotoperiodo.

Una pianta che è stata completamente vernalizzata, ovvero che ha avuto esperienza di una certa quantità di basse temperature nel corso del suo sviluppo vegetativo, diventa, una volta soddisfatto questo suo "fabbisogno in freddo", sensibile al fotoperiodo e quindi in grado di rispondere alle condizioni ambientali producendo un maggior o minor numero finale di foglie.

Al contrario, una pianta non-vernalizzata è insensibile al fotoperiodo e continua a restare nello stadio vegetativo per un periodo molto prolungato di tempo.

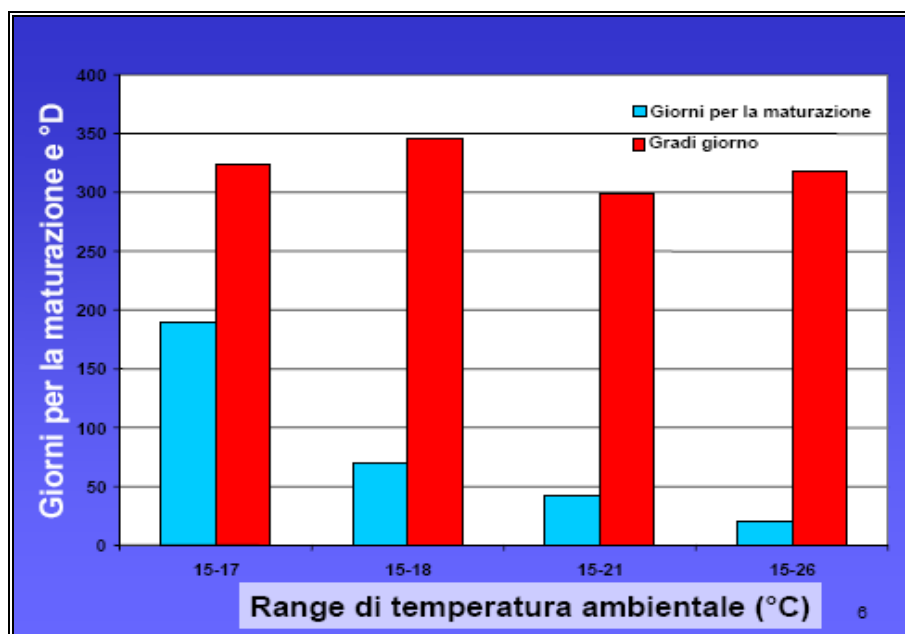
Alla mancata vernalizzazione corrisponde quindi la produzione di un numero finale di foglie molto elevato, al punto che una varietà di grano fotoperiodica coltivata in un clima caldo o seminata in una stagione avanzata e molto calda non riesce mai ad uscire dalla propria fase vegetativa producendo un numero aberrante di foglie senza mai riuscire a produrre la spiga (EJM Kirby, comunicazione personale).

### **1.2.2 Temperatura ed agricoltura: le somme termiche**

In campo agricolo la relazione esistente, entro un certo ambito di specie e di fasi fenologiche, tra temperatura e velocità di crescita, può tornare utile per la determinazione della lunghezza del ciclo colturale, interessante, ad esempio, per valutare la possibilità di adattamento di una specie ad un ambiente, per stabilire la data di semina e per prevedere l'epoca di raccolta di un prodotto.

La lunghezza del ciclo colturale si può esprimere in numero di giorni trascorsi tra semina e raccolta. Questa unità di misura è però poco indicativa e può comportare grossi errori, in quanto il termine giorno assume un significato impreciso. Il valore biologico può infatti variare notevolmente in funzione della località (latitudine, altitudine), delle stagioni di quel particolare anno (più o meno caldo, piovoso, ecc.) e delle situazioni colturali (epoca di semina, colture protette, ecc.).

Per misurare il ciclo sarebbe auspicabile utilizzare un parametro ambientale maggiormente correlato con la velocità di crescita. La temperatura appare un fattore idoneo e a tale scopo si può ricorrere al calcolo delle somme termiche.



**Figura 1.6** - Temperature e giorni di maturazione

Ad esempio nella figura sono messi a confronto, per un determinato *range* di temperature utili per la maturazione di una specie vegetale, il numero dei gradi giorno e la quantità di °D necessari al raggiungimento della fase. Dal grafico di figura 1.6 è evidente la stretta relazione esistente tra il raggiungimento della maturazione e la temperatura: di contro il numero di giorni è molto variabile.

Un grado giorno °D può essere definito come la somma dei gradi ora °H in un giorno diviso in 24 ore.

Per completare il concetto bisogna considerare che per ogni specie vegetale esistono delle temperature soglia al di sotto e al di sopra delle quali lo sviluppo vegetativo si arresta: le temperature comprese tra questi valori limite sono “utili” allo sviluppo della pianta (Daughtrey et al., 1995).

<b>Temperature di soglia</b>		
<b>COLTURA</b>	<b>Soglia minima (°C)</b>	<b>Soglia massima (°C)</b>
Cotone	12-14	40
Frumento	0-1	30-32
Girasole	8-10	35
Mais	8-10	30
Patata	10	30
Pomodoro	6-7	30
Soia	10	35
Sorgo	9-10	35

**Tabella 1.2** - Temperature di soglia delle diverse colture, valori proposti dalla FAO

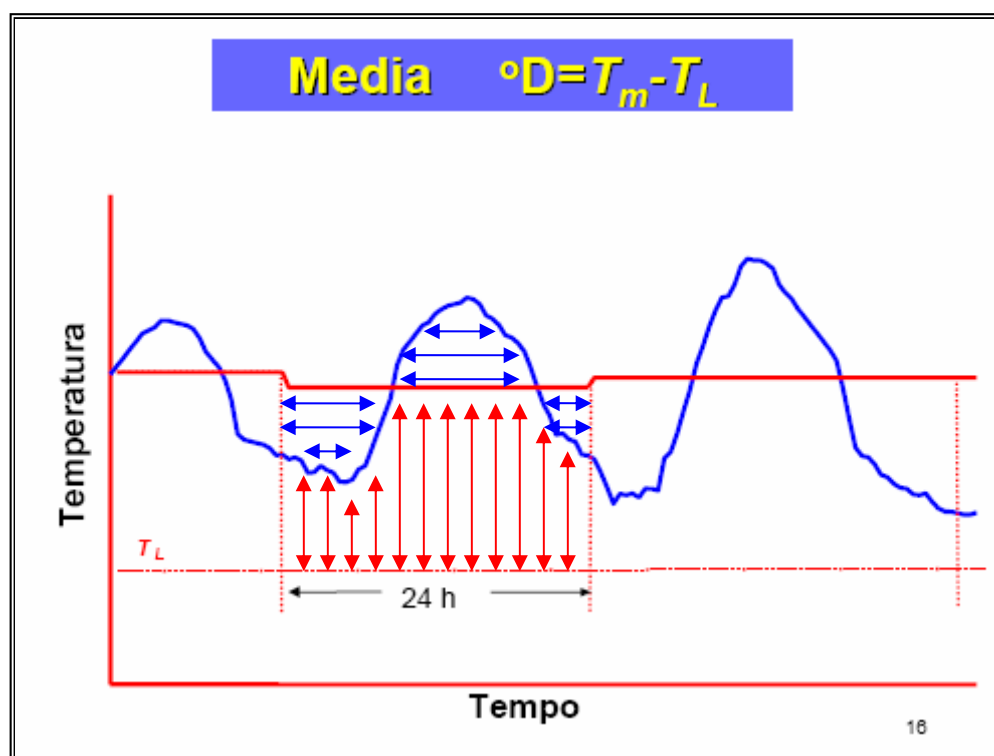
Le temperature riportate in tabella 1.2 mostrano il *range* entro il quale ogni coltura indicata riesce a soddisfare i propri fabbisogni vitali e variano al variare della specie vegetale.

Conoscendo l'andamento termico giornaliero e le soglie che limitano lo sviluppo, è possibile calcolare valori, le unità termiche o gradi giorno, che quantificano l'efficacia dei rapporti termici sulla crescita vegetale.

Cumulando nel tempo le unità termiche otteniamo una sommatoria termica stagionale. Le formule per calcolare i gradi "utili" giornalieri sono molteplici.

In molti casi, gli algoritmi per il calcolo delle unità termiche giornaliere, utilizzano la temperatura media come base di partenza; a tale valore viene sottratto il valore della temperatura soglia (tab. 1.2).

In questo caso, in figura 1.7 si stima che l'integrale al di sotto della curva della temperatura (area delle frecce azzurre), nelle ventiquattro ore, sia approssimabile dall'area del rettangolo compreso tra la temperatura media e la temperatura di soglia (riempimento con frecce rosse).



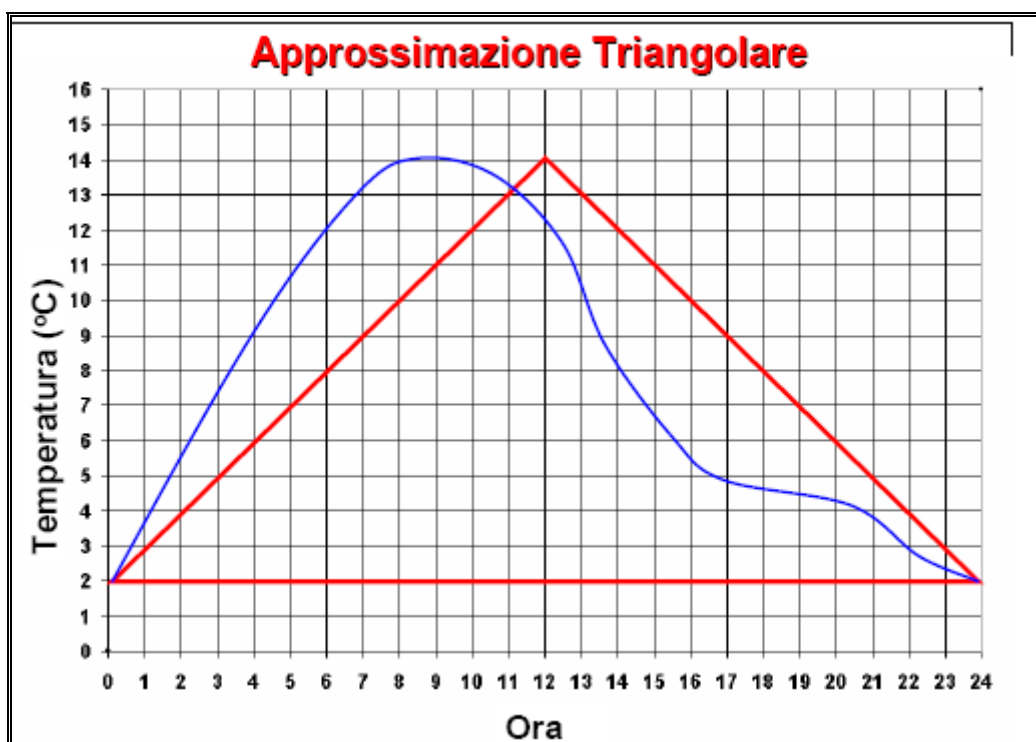
**Figura 1.7** - Aree (frecce rosse e azzurre) a confronto equivalente. Tali aree sono approssimate in funzione dell'andamento della temperatura

I valori giornalieri vengono poi cumulati a partire dalla data di semina della coltura. Nel mais il raggiungimento di specifici stadi di sviluppo (per es. fioritura o maturazione fisiologica) è strettamente correlato al superamento di determinati valori di unità termiche (Daughtrey et al., 1995) che variano al variare della precocità della cultivar.



Non sempre però al raggiungimento di una determinata soglia termica corrisponde una determinata fase fenologica della coltura: eventuali stress idrici, attacchi parassitari o fungini, possono infatti far ritardare o anticipare lo sviluppo delle piante. Sebbene le somme termiche poggino su solide basi teoriche, il loro utilizzo in campo applicativo si esprime con semplificazioni delle relazioni e perciò, non sempre fornisce risultati accurati.

Negli ultimi anni si è continuamente modificato il modo di calcolo delle unità termiche per adattare meglio a reali situazioni ambientali e biologiche.



**Figura 1.8** - Approssimazione triangolare dell'andamento della temperatura

Una approssimazione migliore si ottiene supponendo che l'area sottesa dalla curva dell'andamento della temperatura dell'aria durante le 24 ore (fig 4 ) possa essere approssimata all'area di un triangolo avente come altezza la temperatura massima giornaliera.

Tale approssimazione ci permette di calcolare i gradi giorno °D nel seguente modo: definendo come TL la temperatura di soglia minima, Tx la temperatura massima giornaliera, Tn il valore di temperatura minima e Tm la temperatura media delle 24 ore vediamo come è possibile calcolare i valori di °D in differenti casi.

- i) la temperatura di soglia TL sarà uguale alla temperatura minima Tn

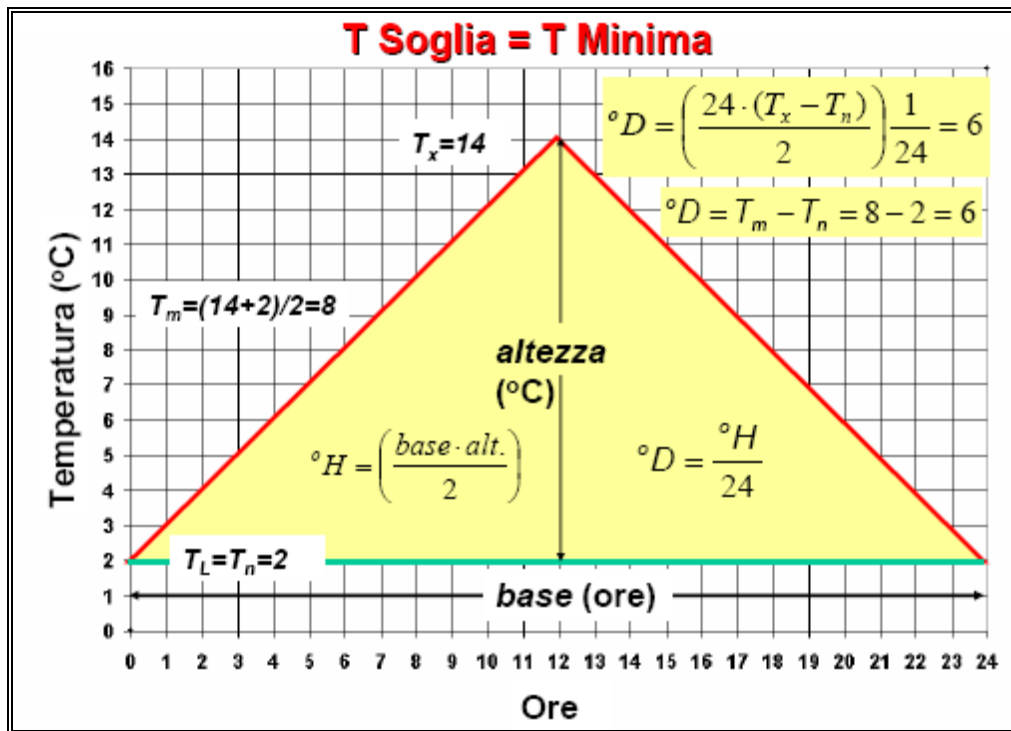


Figura 1.9 - Caso in cui la temperatura di soglia TL è uguale alla temperatura minima Tn

l'area del triangolo °H sarà uguale a:

$$^{\circ}H = \left( \frac{\text{base} \cdot \text{alt.}}{2} \right)$$

Dove °H sarà la somma dei gradi ora, la base il numero delle ore della giornata e l'altezza la temperatura massima Tx.

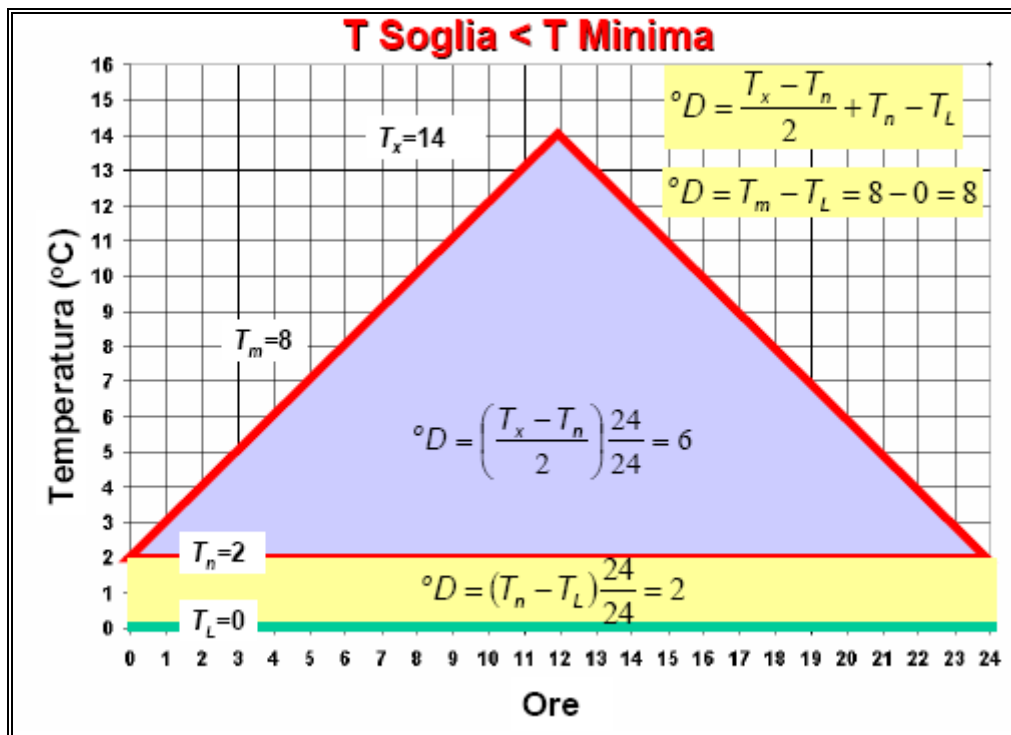
Sapendo che °D, gradi giorno sono uguali ai gradi ora sul numero delle ore giornaliere

$$^{\circ}D = \frac{^{\circ}H}{24}$$

Allora °D risulterà essere pari a

$$^{\circ}D = \left( \frac{24 \cdot (T_x - T_n)}{2} \right) \frac{1}{24} = \frac{T_x - T_n}{2} = T_m$$

ii) la temperatura di soglia  $T_L$  sarà inferiore alla temperatura minima  $T_n$  il triangolo avrà un'area inferiore. In questo caso la difficoltà del calcolo è data dal valore della base, non più pari a 24 ore.



**Figura 1.10** - Caso in cui la temperatura di soglia  $T_L$  è inferiore alla temperatura minima  $T_n$

Fermi restando i valori della temperatura massima  $T_x$  e minima  $T_n$ , al variare della temperatura di soglia  $T_L$  si aggiungerà alla somma l'area del rettangolo sottostante.

L'area del triangolo il cui perimetro è tracciato in rosso risulterà essere

$$°D = \left( \frac{T_x - T_n}{2} \right) \frac{24}{24}$$

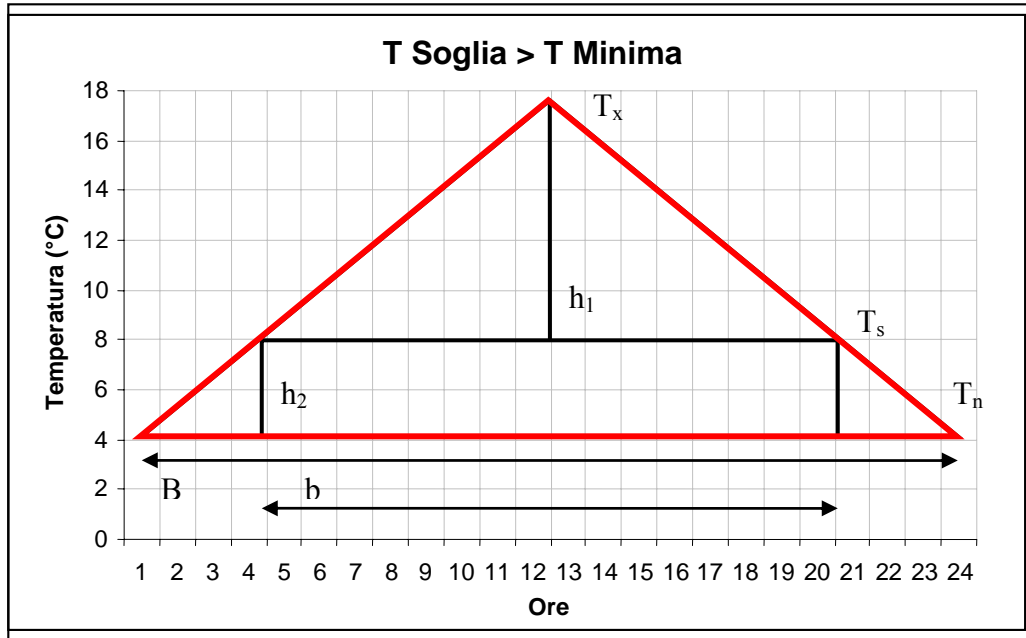
Considerando la temperatura di soglia  $T_L$  pari a 0 si dovrà aggiungere un'area uguale a

$$°D = (T_n - T_L) \frac{24}{24}$$

e quindi

$$°D = \frac{T_x - T_n}{2} + T_n - T_L$$

ii) Nel caso (fig. 1.11 ) in cui la temperatura di soglia  $T_L$  sarà maggiore della temperatura minima  $T_n$  il triangolo dovrà avere un'area inferiore. In questo caso la difficoltà del calcolo è data dal valore della base, non più pari a 24 ore.



**Figura 1.11** - Caso in cui la temperatura di soglia  $T_L$  è uguale alla temperatura minima  $T_n$

$$A = \frac{B \cdot H}{2}$$

Come calcolare  $b$ ?

$$H \div h_1 = B \div b$$

$$b = \frac{B \cdot h_1}{H} = \frac{24(T_x - T_s)}{(T_x - T_n)}$$

$$A = \frac{h_1 \cdot b}{2} = \frac{(T_x - T_s)}{2} \cdot \frac{24(T_x - T_s)}{(T_x - T_n)} = \frac{(T_x - T_s)^2}{2(T_x - T_n)} \cdot 24$$

$$^{\circ}D = \frac{A}{24} = \frac{(T_x - T_s)^2}{2(T_x - T_n)}$$

Il modello del triangolo partendo dall'utilizzo del grado ora °H quindi risulta essere abbastanza affidabile e preciso per il calcolo delle somme termiche.

Nel caso in cui si prendessero in esame due temperature di soglia, una di base  $T_L$  finora analizzata ed una temperatura di soglia superiore  $T_u$  oltre la quale la coltura non riuscirebbe più ad utilizzare energia termica, la situazione sarebbe la seguente:

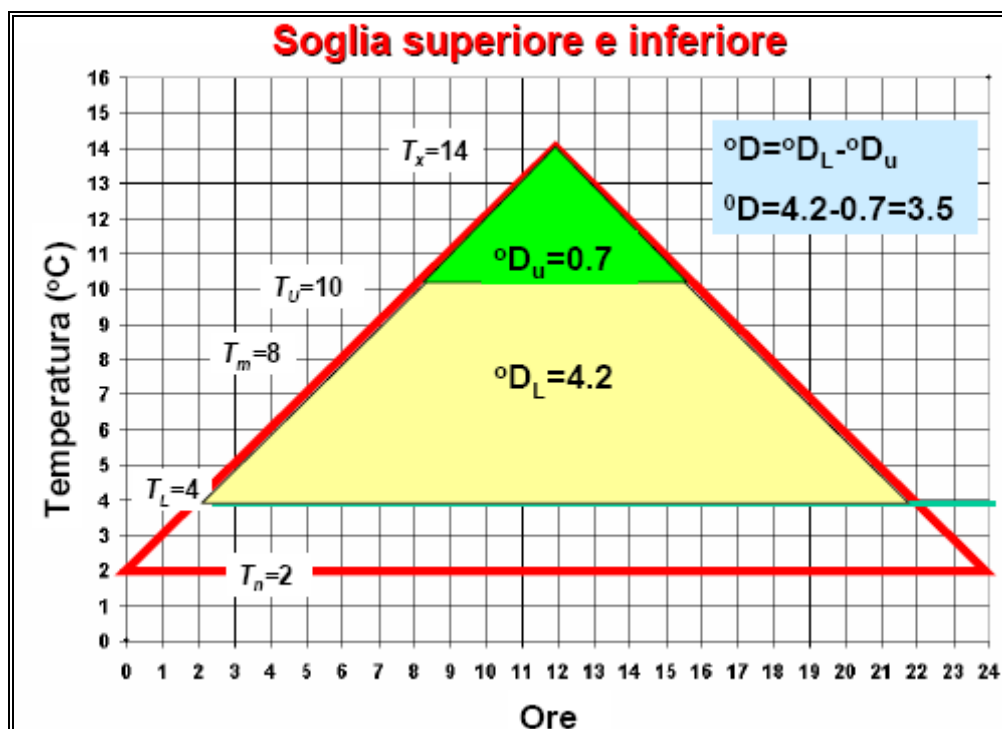


Figura 1.12 - Caso in cui ci sia una temperatura di soglia inferiore  $T_L$  ed una superiore  $T_u$

Dalla figura 1.12 è evidente che l'energia termica utile  $^{\circ}D$  in questo caso sarà delimitata nell'area di un trapezio la cui base ed altezza saranno i valori in numero di ore dipendenti dai valori in gradi centigradi intercettati nelle ordinate dalle  $T_L$  e  $T_u$ .

Si deduce quindi l'area di tale trapezio risulterà pari alla differenza dell'area  $^{\circ}D_L$  del triangolo dal perimetro in rosso ed il valore dell'area del triangolo  $^{\circ}D_u$

$$^{\circ}D = ^{\circ}D_L - ^{\circ}D_u$$

La somma termica così calcolata, delimitando un *range* ben preciso nel quale la pianta riesce ad utilizzare a pieno le condizioni termiche risulta quindi essere il metodo più accurato dell'utilizzo del modello delle somme termiche.

### 1.3 Necessità di simulare: i modelli fenologici

La conoscenza dell'evoluzione fenologica delle colture di interesse agrario e delle principali specie infestanti ad esse associate e' essenziale ai fini di una corretta realizzazione di tutte quelle pratiche agronomiche, come la concimazione, l'irrigazione, i trattamenti antiparassitari, il diserbo, ecc., la cui realizzazione e' strettamente legata allo stadio di sviluppo.

La possibilità quindi di disporre di modelli di simulazione dello sviluppo può risultare di particolare interesse per la creazione di assistenza tecnica.

Questi strumenti infatti, insieme alle previsioni meteorologiche, possono essere impiegati non solo per la determinazione dell'evoluzione della fenologia ma anche per una sua previsione (Bindi M. et al., 2002). Nel campo della modellistica dello sviluppo fenologico delle specie coltivate, negli ultimi tempi sono stati profusi notevoli sforzi ai fini di una corretta interpretazione delle relazioni esistenti tra i parametri ambientali e la dinamica dello sviluppo.

Esistono numerosi approcci dove i più semplici, come descritto nel paragrafo precedente, si basano sul concetto delle "unità termiche" e sull'assunzione dell'esistenza di una relazione lineare tra le sommatorie termiche e lo sviluppo, mentre nei più dettagliati il concetto delle unità termiche e' corretto per tener conto della diversa risposta varietale all'azione della vernalizzazione e del fotoperiodo.

Attualmente esistono vere e proprie reti di ricerca (es. GCTE-Wheat e Potato Networks) che hanno come obiettivo quello di raccogliere informazioni sui modelli di sviluppo e crescita delle varie colture agrarie. Informazioni che sempre più spesso vengono messe a disposizione su Internet mediante apposite WEB-pages (es. <http://library.wur.nl/camase>; <http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html>).

Per le principali colture di interesse agricolo sono quindi già disponibili modelli in grado di simulare la durata delle singole fasi fenologiche.

In gran parte dei casi però tali modelli non sono stati validati in ambienti diversi da quelli in cui sono stati realizzati e in condizioni climatiche estreme.

Inoltre, solo raramente sono stati condotti dei confronti tra i vari modelli sviluppati per la stessa specie. Ai fini quindi di un uso applicativo di tali strumenti non e' possibile prescindere da una ampio esame di calibrazione, validazione e confronto.

Esame che però può essere condotto correttamente solamente in presenza di un set di dati che rappresentino le diverse realtà colturali e climatiche esaminate.

Per quanto riguarda invece le specie infestanti si presenta la necessità di sviluppare, calibrare e validare nuovi modelli in quanto gli aspetti modellistici del loro sviluppo sono stati esaminati solo

marginalmente. In questo contesto si è inserito il progetto “Phenagri: fenologia per l’agricoltura” che ha avuto tra i suoi scopi principali quello di esaminare la modellizzazione dello sviluppo fenologico delle specie agricole ed infestanti.

Nell’ambito del Progetto Nazionale “Phenagri: fenologia per l’agricoltura” hanno collaborato le seguenti Unità di Ricerca:

- Centro Studi per l’Applicazione dell’Informatica in Agricoltura (Ce.S.I.A.),
- Accademia dei Georgofili, Firenze (Coordinatore del gruppo, Prof. M. Bindi);
- Servizio Meteorologico della Regione Emilia-Romagna (S.M.R.), Bologna (Dr. V. Marletto);
- Istituto Sperimentale delle Colture Industriali (I.S.C.I.) Modena (Dr. M. Donatelli);
- Dipartimento di Produzione Vegetale e Tecnologie Agrarie (D.P.V.T.A.), Università di Udine, (Prof. F. Danuso);
- Dipartimento di Scienze Agronomiche e Gestione del Territorio Agro-Forestale (D.I.S.A.T.), Università di Firenze, Firenze (Prof. C. Zanchi);
- Istituto di Agronomia, Università di Catania (Prof. S. L. Cosentino)
- Il Dipartimento di Scienze e tecnologie Agroambientali della Facoltà di Agraria di Bologna (Prof. P. Rossi Pisa)

Sulla base delle competenze delle singole unità di ricerca sono state individuate le seguenti colture da simulare: cereali autunno-vernini (frumento e orzo), Ce.S.I.A./D.I.S.A.T. Firenze; mais e pomodoro, ARPA-S.M.R. e DiSTA di Bologna; soia e infestanti, Università di Udine; girasole e sorgo, Università di Catania; mentre, all’ISCI è stata affidata la progettazione del software applicativo.



Per ciascuna delle colture (tab. 1.3) sono stati individuati dei modelli in grado di simulare, a partire dai dati meteorologici, la durata delle principali fasi fenologiche:

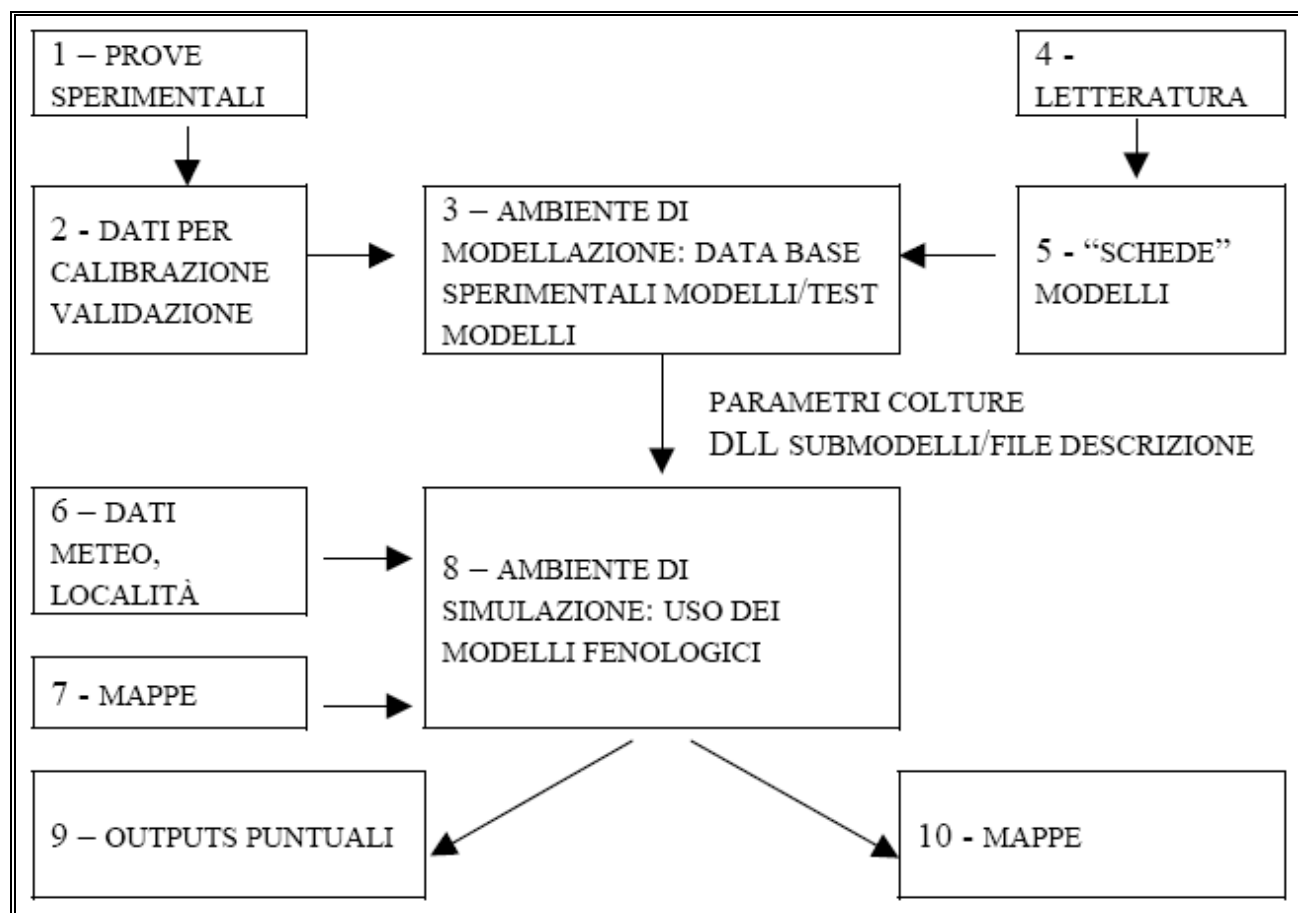
Modello	Fasi	Fattori	Rifer.bibliografico
<b>Cereali autunno/vernini</b>			
ARCWHEAT	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto., Vern.	Porter et al., 1987
CAO e MOSS	Eme, Spi	Temp., Foto., Vern.	Cao e Moss, 1997
CERES	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp., Foto., Vern.	Ritchie, 1991
McMASTER	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp.	McMaster et al., 2001
MIGLIETTA	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp., Foto.	Miglietta et al., 1993°-b
ARPA-SIM mod	Eme, Spi, Fio, Mat	Temp, Foto, Vern	Nerozzi, Merletto, Tomei, 1998_2007
<b>Mais</b>			
SMR-mais	Eme, Vir. Ap., Fio, Mat	Temp., Foto.	Grant, 1989
<b>Pomodoro</b>			
SMR-pomodoro	Eme/Tra, Fio, Inv, Mat	Temp., Foto., Pre.	Gray et al., 1980; Wolf et al., 1986
<b>Soia</b>			
DANUSO	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto., Pre.	Danuso, 1997
<b>Infestanti (B. frondosa e B. tripartita)</b>			
NOAA	Eme, Fio, Mat	Temp.	Danuso, 1989
Foto-Termico	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto.	Danuso, 1989
Termo-Idrico	Eme, Fio, Mat	Temp., Pre.	Danuso, 1989
<b>Girasole</b>			
Oilcrop-SUN	Eme, Fio, Mat	Temp., Foto.	Villalobos et al.,
HAMMER	Eme, Fio	Temp., Foto.	Hammer et al., 1982
<b>Sorgo</b>			
CERES			Hodges, 1991
Fasi: <b>Eme</b> =emergenza, <b>Tra</b> =trapianto, <b>Vir ap</b> =viraggio apicale, <b>Spi</b> =spigatura, <b>Fio</b> =fioritura, <b>Inv</b> =invasatura, <b>Mat</b> =maturazione Fattori: <b>Temp</b> =temperatura, <b>Pre</b> =precipitazioni; <b>Foto</b> =fotoperiodo			

**Tabella 1.3** - Modelli descritti in funzione delle fasi fenologiche e dei fattori climatici influenti sulle colture

I modelli selezionati sono stati calibrati e validati impiegando sia i dati già a disposizione delle varie unità operative che quelli messi a disposizione dal progetto durante i tre anni di rilievi sperimentali. In particolare, per indicare la corrispondenza fra dati simulati ed osservati e, quindi, la bontà di un modello sono stati calcolati una serie di indici statistici come il *Mean Bias Error* (MBE), il *Mean Absolute Error* (MAE), il *Root Mean Square Error* (RSME), il *Root Mean Square Difference* (RMSD%). A quest'ultimo indice è stata affiancata una scala qualitativa che valuta l'efficacia del modello nel simulare le singole fasi fenologiche (Jamieson et al., 1991). E' stata infine calcolata anche la correlazione ( $r$ ) fra i valori osservati e quelli simulati.

I risultati della validazione hanno messo in evidenza, la necessità di svolgere un dettagliato lavoro di calibrazione per adattare alla realtà italiana modelli costruiti in ambienti con caratteristiche

climatiche, pedologiche e varietali talvolta assai differenti dalle nostre. Solo dopo un'accurata calibrazione i modelli selezionati sono stati in grado di simulare con sufficiente precisione la durata delle varie fasi fenologiche. L'obiettivo generale è stato quello di avere disponibili, in un unico ambiente software integrato, uno o più modelli fenologici per ciascuna specie, unitamente ai dati per la calibrazione e il test dei modelli. Una rappresentazione schematica dei principali collegamenti e prodotti ottenibili è riportata in fig. 1. Tale *software* permetterà il test dei modelli stessi e il loro *export* ad un'altro *software*, che ne permetterà l'uso.



**Figura 1.13** Input, prodotti e flussi d'informazione ottenibili dal software dedicato

### 1.3.1 Modello fenologico utilizzato: ARPA-SIM modificato

Per simulare le diverse fasi dello sviluppo fenologico del frumento e del mais sono stati utilizzati alcuni modelli matematici già pubblicati. Questi modelli sono stati uniti insieme per ottenere due modelli complessivi che descrivono l'intero ciclo di sviluppo delle colture mediante la successione di alcune tra le principali fasi fenologiche (Nerozzi et al., 1998). In particolare, il modello per il frumento prevede le date di germinazione, di viraggio apicale, di spigatura e di maturazione fisiologica. Per il mais, invece, sono previste dal modello le date di germinazione, di viraggio apicale, di comparsa delle setole e di maturazione fisiologica. Sono state effettuate la calibrazione e la validazione di questi modelli sulla base delle osservazioni compiute nel decennio 1987-1996

mediante la rete di rilevazione agrofenologica dell'Emilia-Romagna. In seguito alla calibrazione, la sottostima (bias) dei due modelli nella previsione delle date, eccetto quella del viraggio apicale, non osservata in campo, è inferiore a 2 giorni, mentre l'errore quadratico medio (rmse) varia da 5 a 8 giorni.

L'analisi di sensibilità effettuata sui modelli ha altresì dimostrato che, per il frumento, un ritardo della data di semina è di scarso effetto sulle date di spigatura e di maturazione delle piante. Solo la fase di viraggio apicale è sensibile. Al contrario, per il mais, un ritardo della data di semina induce un ritardo delle fasi successive. L'incremento di temperatura porta, in generale, ad un anticipo più o meno consistente degli eventi fenologici. Nel frumento, l'anticipo del viraggio apicale è maggiore rispetto a quello delle altre fasi e ciò comporta un allungamento del ciclo viraggio-maturazione; nel mais, la durata delle fasi è più sensibile alla data di semina che all'incremento di temperatura.

Le informazioni sullo stato delle colture e le previsioni del loro sviluppo, contenute nei bollettini agrometeorologici, sono diventate un supporto indispensabile per la programmazione agricola e l'assistenza tecnica. Le reti di rilevazione agrofenologica, oltre ad essere onerose da un punto di vista economico e di risorse umane, difficilmente consentono di fare delle stime previsionali in tempo reale o di estrapolare le osservazioni sul territorio ad un elevato livello di risoluzione spaziale (Borin et al., 1996). Per ovviare a questi inconvenienti, si possono utilizzare dei modelli matematici, purché opportunamente calibrati, che simulano lo sviluppo e la crescita delle colture in funzione delle condizioni ambientali.

Passioura (1996) distingue tra modelli meccanicistici ed empirici. I modelli meccanicistici comprendono diverse parti relative alla simulazione dei processi fisiologici delle piante, quali ad esempio la fotosintesi e la traspirazione, e possono essere integrati in modelli più generali per studiare l'interazione tra suolo, vegetazione ed atmosfera (Dolman *et al.*, 1996; Goudriaan e Zadocks, 1995; Goudriaan, 1996). I modelli empirici sono più semplici e la crescita e lo sviluppo delle colture sono correlati alle condizioni ambientali sulla base di parametri statistici. Questi ultimi non sono orientati alla comprensione dei meccanismi fisiologici che avvengono nelle piante, ma possono essere utilizzati come strumenti di analisi e di controllo nella gestione di un'azienda o, più in generale, di un territorio (Horie *et al.*, 1995).

Lo scopo di questo lavoro è stato quello di calibrare e convalidare alcuni modelli matematici per il frumento e per il mais, affinché potessero simulare lo stato fenologico delle colture su scala regionale. Esiste una vasta letteratura scientifica che riguarda i modelli matematici per la fenologia del frumento (Heuer et al., 1978; Porter, 1984; French e Hodges, 1985; McMaster e Smika, 1988; Miglietta, 1991a, b) e del mais (Warrington e Kanemasu, 1983a, b, c; Grant, 1989; Grant et al., 1989; Cutforth e Shaykewich, 1990; Hodges e Evans, 1992; Olsen et al., 1993). In particolare,

alcuni di questi modelli non sono basati soltanto sulle sommatorie gradigiorno, ma descrivono i meccanismi morfologici localizzati sull'apice vegetativo che stanno alla base dello sviluppo fenologico delle colture (Grant, 1989; Miglietta, 1991a, b). Per simulare l'intero ciclo di sviluppo delle colture sono stati uniti insieme diversi modelli già esistenti e, per alcuni di essi, è stata fatta una stima dei parametri sulla base delle osservazioni fenologiche compiute in Emilia-Romagna nel decennio 1987-1996 mediante la rete di rilevazione agrofenologica. In questo modo sono stati ottenuti due modelli complessivi che permettono di simulare lo sviluppo fenologico del frumento e del mais, dalla germinazione alla maturazione fisiologica, attraverso la successione di poche fasi fenologiche principali (French e Hodges, 1985).

La validazione di questi modelli, ossia la determinazione degli scarti tra le simulazioni e le osservazioni, ha permesso di determinare i limiti di validità per il loro utilizzo in Emilia-Romagna. In seguito, è stata effettuata un'analisi di sensibilità in funzione della data di semina e della temperatura per studiare la variabilità del comportamento dei modelli come effetto della variabilità delle condizioni ambientali.

Per compiere la calibrazione e la validazione dei modelli fenologici, da questo database sono state estratte con il programma MS-ACCESS vs. 7.0 (MicroSoft Corp., USA) la data di semina, la data del rilievo relativo alla classe 1 delle diverse fasi e le coordinate geografiche UTM dei campi controllati. Si è assunto, infatti, che lo stadio fenologico fosse raggiunto alla data di osservazione della prima classe (fino al 5%), considerata come la data potenziale in cui le diverse fasi dovrebbero manifestarsi, qualora non intervengano ritardi dovuti a fenomeni di stress biotici ed abiotici.

Per il frumento, le varietà seminate nel corso del decennio 1987-1996 sono state numerose (oltre 50), sebbene le osservazioni fenologiche relative alle varietà *Centauro*, *Brasilia*, *Manital*, *MEC* e *Pandas* costituiscano da sole oltre il 60% del totale. Questo ampio spettro varietale, la variabilità delle date osservate in campo anche nelle analisi successive per la calibrazione e la validazione dei modelli, hanno permesso la considerazione indistinta dei dati relativi a tutte le varietà. Ciò rende più robusto il modello in quanto ci permette di prendere in considerazione una suddivisione varietale, fondamentale per ottenere una risposta simulata attendibile.

Infatti la possibilità di scegliere tra varietà precoce, media e tardiva consente di adattare al modello la maggior parte delle varietà in commercio, garantendo una maggiore affidabilità nei dati prodotti riscontrati. Anche per il mais il numero degli ibridi seminati nel corso del periodo è stato molto numeroso (oltre 150 tipi diversi); quelli più utilizzati sono stati *Bianca*, *Costanza*, *Furia*, *Lorena* e *Samantha*. Il confronto tra le date simulate e quelle osservate è stato compiuto supponendo che gli ibridi di riferimento appartenessero a differenti classi FAO. Ciò ci ha permesso di considerare varietà dalle più precoci 100, 200 e 300 fino alle più tardive 600 e 700.

### ***Elaborazione dei dati meteorologici all'interno del modello ARPA***

I dati meteorologici utilizzati per la calibrazione e validazione del modello ARPA si riferiscono al periodo 1986-1996 e sono stati misurati nelle 142 stazioni automatiche e meccaniche della rete della regione Emilia-Romagna. I dati utilizzati sono record giornalieri di temperatura e precipitazione.

Un'analisi preliminare delle condizioni meteorologiche che hanno caratterizzato il territorio regionale durante il periodo considerato è stata effettuata calcolando la media giornaliera dei dati di temperatura minima e massima e di precipitazione osservati in tutte le stazioni.

Per la temperatura, da queste medie giornaliere sono state ottenute le medie mensili e le sommatorie gradigiorno con soglia 10 °C, mentre, per la precipitazione, è stata calcolata la precipitazione cumulata in ogni stagione.

La variabilità della precipitazione stagionale nel corso del decennio è stata valutata utilizzando lo scarto relativo  $s$ . Questo indice statistico normalizza lo scarto dalla media dei valori osservati rispetto alla media stessa:

$$s = \frac{P^{(oss)} - P^{(cli)}}{P^{(cli)}} .$$

Nella formula  $P^{(oss)}$  sono i valori stagionali di precipitazione, mentre  $P^{(cli)}$  è la media climatologica della stagione calcolata nel decennio.

La temperatura superficiale del suolo  $T_s$  è invece calcolata dai dati giornalieri di temperatura dell'aria massima  $T_a^{(max)}$  e minima  $T_a^{(min)}$  mediante l'algoritmo utilizzato nel modello EPIC (USDA, 1990).  $T_s$  è definito dalle seguenti equazioni, a seconda che avvengano degli eventi piovosi oppure no:

$$T_s = T_a^{(min)} + \Omega \cdot (T_a^{(max)} - T_a^{(min)})$$
$$T_s = \frac{T_a^{(med)} - \frac{N_{wet}}{N_d} \cdot [T_a^{(min)} + \Omega \cdot (T_a^{(max)} - T_a^{(min)})]}{1 - \frac{N_{wet}}{N_d}}$$

Nelle formule precedenti  $T_a^{(med)}$  è la temperatura media dell'aria, calcolata da  $T_a^{(max)}$  e  $T_a^{(min)}$ , mentre  $\Omega$  è un fattore di scala empirico, compreso tra 0 ed 1, che consente di correggere il valore della temperatura del suolo nei giorni di pioggia.

Il valore di  $\Omega$  è stato posto uguale a 0,1 per tutte le simulazioni (USDA, 1990).  $N_d$  e  $N_{wet}$  sono rispettivamente il numero totale dei giorni ed il numero medio dei giorni piovosi per ogni mese. Il valore medio del numero di giorni piovosi è stato calcolato sulla base dei dati meteorologici relativi al decennio 1986-1996 disponibili presso il Servizio Meteorologico Regionale.

### *Sviluppo dei modelli fenologici*

Per disporre di due modelli complessivi in grado di simulare l'intero ciclo di sviluppo del frumento e del mais sono stati congiunti insieme diversi modelli, ognuno dei quali è in grado di descrivere soltanto una precisa fase fenologica.

Questi modelli, organizzati in forma modulare, agiscono in modo sequenziale e terminano quando la fase corrispondente è raggiunta.

- *Frumento*

Il modello simula il ciclo colturale suddiviso nelle seguenti fasi: semina-germinazione, germinazione-viraggio apicale, viraggio apicale-ultima foglia, ultima foglia-spigatura e spigatura-maturazione fisiologica.

#### *Semina - Germinazione*

In ambiente controllato, dove è possibile mantenere la temperatura dell'aria ad un valore costante  $T$  superiore ad una data soglia  $T_b$ , il reciproco della durata della germinazione, che rappresenta la velocità di sviluppo per unità di tempo, è linearmente correlato con la temperatura dell'aria. Ciò è congruente all'esistenza di una relazione di tipo iperbolico tra la durata del periodo di germinazione e la temperatura media dell'aria (Summerfield *et al.*, 1992):

$$\frac{1}{f} = b(T - T_b)$$

dove  $f$  è il numero dei giorni trascorsi tra la semina e la germinazione delle piante, mentre  $b$  è un coefficiente di proporzionalità.

In condizioni di campo, dove la temperatura dell'aria non è costante, il tempo termico  $\theta$  necessario per la germinazione è calcolato con la seguente funzione:

$$\theta = \sum_{i=1}^f \max\{0; b(T_i - T_b)\}$$

dove  $T_i$  è la temperatura media dell' $i$ -esimo giorno.

La germinazione avviene quando  $\theta$  è uguale a 1. In questo lavoro, il coefficiente  $b$  e la temperatura di soglia  $T_b$  sono stati definiti sulla base delle osservazioni fenologiche compiute in Emilia-Romagna.

La temperatura media è stata calcolata come il rapporto tra la sommatoria delle temperature medie giornaliere ed il numero dei giorni trascorsi tra la data di semina e la data di osservazione della germinazione.

In questo modo si possono compiere alcuni errori se la temperatura media giornaliera è stata inferiore per qualche giorno alla temperatura di soglia (generalmente inferiore ad 1 °C). Tuttavia,

temperature medie così rigide sono piuttosto rare in Emilia-Romagna durante la stagione autunnale e gli eventuali errori possono essere trascurati.

#### *Germinazione – Ultima foglia*

Per simulare la data del viraggio apicale, ossia quando l'apice vegetativo passa dalla fase di produzione degli abbozzi fogliari a quella di produzione degli abbozzi della spiga, e la data di comparsa dell'ultima foglia, si è fatto riferimento al modello sviluppato da Miglietta (1991a, b).

Dopo la fase di germinazione, questo modello prevede un tasso di formazione dei primordi fogliari come funzione lineare della temperatura media dell'aria, quando questa è maggiore di 2 °C, e incrementa il numero dei primordi vegetativi  $P$  a partire da un numero di 4 già presenti nel seme:

$$\frac{dP}{dt} = \max \{0; 0,0149(T - 2)\}$$

Il numero delle foglie emerse  $L_e$  è calcolato mediante la seguente funzione empirica:

$$L_e = \frac{1}{\alpha} \left\{ 1 - \exp \left[ -\alpha \sum \frac{dP}{dt} \delta t \right] \right\}$$

dove  $\alpha$  è uguale a 0.03 e  $\delta t$  è l'intervallo unitario (Kirby *et al.*, 1995; Miglietta, 1991a). Il modello tiene conto della differenza di sincronizzazione tra la data di semina ed il periodo più freddo dell'anno, ossia, per l'Emilia-Romagna, quando la media mobile su 5 giorni della temperatura media dell'aria è inferiore a 2°C.

Il numero totale di foglie delle colture seminate nel periodo più freddo dell'anno ( $L_p$ ) è calcolato in corrispondenza della fase di germinazione.  $L_p$  è una funzione del fotoperiodo  $\varphi$  (Goudriaan e Van Laar, 1978) e di un coefficiente  $\sigma$  dipendente dalla latitudine e posto uguale a 32,1 (Miglietta, 1991b):

$$L_p = 6,5 + \sigma \exp(-0,25\varphi)$$

Per le coltivazioni con semina anticipata, il numero totale delle foglie ( $L_t$ ) è dato dalla somma di  $L_p$  con il numero delle foglie già apparse sullo stelo principale ( $L_e$ ) quando germinano le colture seminate nel periodo più freddo dell'anno:

$$L_t = L_p + 0,65L_e$$

Il coefficiente di  $L_e$  è stato posto uguale a 0,65 come proposto da Miglietta (1991b). Il viraggio apicale è raggiunto quando il numero dei primordi iniziati è uguale al numero totale delle foglie  $L_t$ .

#### *Ultima foglia - Spigatura*

La fase di spigatura si osserva in campo dopo l'emissione di tutte le foglie e dopo la fase di botticella. Per simulare la durata del periodo compreso tra l'emissione dell'ultima foglia e la spigatura è stato utilizzato il criterio proposto da Grant nel modello del mais (1989). Questo criterio



definisce la durata in funzione del fillocrono, ossia in termini equivalenti all'emissione fittizia di una o più foglie dopo la comparsa dell'ultima.

#### *Spigatura – Maturazione fisiologica*

Per simulare la durata della fase spigatura-maturazione fisiologica sono state utilizzate le sommatorie gradigiorno con soglia 9 °C (Weir *et al.*, 1984; Porter, 1984). Tuttavia, questo modello prevede il raggiungimento della maturazione fisiologica dopo 350 °C dalla antesi e, pertanto, si è dovuto stimare il livello dei gradigiorno necessari per compiere il ciclo spigatura-maturazione mediante i dati della rete agrofenologica dell'Emilia-Romagna.

#### • *Mais*

Il modello simula la lunghezza dei periodi semina-germinazione, germinazione-viraggio apicale, viraggio apicale-comparsa delle sete e comparsa delle sete-maturazione fisiologica.

#### *Semina - Germinazione*

La germinazione è simulata sulla base del tempo termico, analogamente al modello del frumento.

#### *Germinazione - Comparsa delle sete*

Le date del viraggio apicale e della comparsa sete sono calcolate con il modello di Grant (1989). Per ognuna delle classi FAO (da 200 a 700), questo modello stabilisce un numero minimo di foglie, che incrementa durante la stagione in funzione del fotoperiodo e della temperatura del suolo:

$$L_t = L_j + L_\varphi + L_T$$

$L_j$  è il numero dei primordi specifico per ciascuna classe di precocità presente all'inizio della formazione degli abbozzi fiorali (fase giovanile), mentre  $L_\varphi$  e  $L_T$  sono i termini che esprimono l'effetto del fotoperiodo e della temperatura e valgono, rispettivamente:

$$L_\varphi = 0,1(L_j - 10)(\varphi - 12,5)$$

$$L_T = 13,6 - 1,89T_s + 0,081T_s^2 - 0,001T_s^3$$

Nella formula  $T_s$  rappresenta la temperatura superficiale del suolo calcolata.

Il tasso di formazione dei primordi fogliari è indicato dalla seguente equazione (Grant, 1989):

$$\frac{dP}{dt} = -0,00065 - 0,0139T_s + 0,00372T_s^2 - 0,000072T_s^3$$

Nella formula  $P$  rappresenta il numero dei primordi vegetativi, mentre  $T_s$  è la temperatura superficiale del suolo. Il numero dei primordi vegetativi cresce durante la stagione da un numero di 5, già presenti nel seme, fino al numero totale di foglie.

Il numero dei primordi calcolato giornalmente è costantemente confrontato con il valore medio di  $L_t$  calcolato dalla germinazione fino al giorno corrente.

Il viraggio apicale avviene quando il valore giornaliero dei primordi è uguale al valore medio di  $L_t$ , corrispondente al numero totale delle foglie.

Il tasso di emergenza delle foglie è calcolato utilizzando la funzione descritta da Tollenaar e Hunter (1983):

$$\frac{dL}{dt} = -0,0997 - 0,0360T + 0,00362T^2 - 0,0000639T^3$$

Nella formula  $T$  rappresenta il valore della temperatura superficiale del suolo finché non è avvenuto il viraggio apicale, poi assume il valore della temperatura dell'aria. Per tener conto della non linearità della funzione, il tasso giornaliero di emergenza delle foglie è la media dei valori calcolati rispettivamente con la temperatura dell'aria minima e massima. Il numero delle foglie emerse è calcolato partendo da un valore iniziale di una foglia.

La fase di comparsa delle setole avviene dopo l'emissione di tutte le foglie ed è appena successiva alla fioritura del pennacchio. Il modello di Grant simula il raggiungimento di questa fase trascorso un periodo di tempo dall'emissione dell'ultima foglia analogo all'emissione fittizia di ulteriori due foglie.

#### *Comparsa delle setole - Maturazione fisiologica*

La maturazione fisiologica avviene dopo una certa quantità di *Corn Heat Units* calcolate con il metodo Ontario (Desiderio e Monotti, 1979) dalla data di fioritura femminile:

$$\begin{aligned}\theta_x &= \max(0; T_x - 10) \\ \theta_n &= \max(0; T_n - 4,4) \\ CHU &= 0,5(1,85\theta_x - 0,047\theta_x^2 + \theta_n)\end{aligned}$$

La quantità delle *Corn Heat Units* necessaria alla maturazione dipende dalla classe FAO.

#### ***Calibrazione e Validazione***

Per simulare la successione delle principali fasi fenologiche del frumento e del mais sono stati utilizzati i dati giornalieri di precipitazione e di temperatura della stazione più vicina (non oltre 10 km) alle aziende agricole dove sono stati compiuti i rilievi. Per rendere indipendenti i dati su cui effettuare la calibrazione e la validazione dei modelli fenologici, le osservazioni sono state suddivise in due serie disgiunte e, precisamente, quelle compiute durante gli anni dispari e quelle compiute durante gli anni pari.

La calibrazione dei modelli (Nerozzi et al., 1998) è stata effettuata utilizzando il metodo del minimo scarto tra simulazioni e osservazioni in campo. Per il frumento è stato osservato che il modello di Miglietta tendeva a sottostimare il numero delle foglie (tab. 1.4).

E' stato necessario quindi stimare il tasso di emergenza dei primordi sulla base delle sommatorie gradigiorno relative alla osservazione delle foglie in campo.

La rilevazione del numero delle foglie è compiuta in campo fino alla sesta foglia, che precede la fase di levata. Tuttavia, per calcolare il fillocrono sono stati considerati i rilievi delle prime quattro foglie, in quanto, quelli relativi alla quinta ed alla sesta foglia, erano in numero limitato. Con il programma statistico SPSS, è stato eseguito il test t-Student sulle distribuzioni delle sommatorie gradigiorno con soglia 2 °C relative alle prime quattro foglie per stabilire se queste sono distribuzioni normali.

In seguito, il coefficiente  $b$  dell'equazione dei primordi è stato calcolato invertendo l'equazione che relaziona il numero delle foglie sviluppate alla sommatoria gradigiorno:

$$b = \frac{-\frac{1}{\alpha} \log_e(1 - \alpha L_e)}{< \sum \max(0; T - 2) >}$$

Nella formula,

$$< \sum \max(0; T - 2) >$$

rappresenta la media delle distribuzioni delle sommatorie gradi giorno osservate (tab. 1.4).

No. Foglie osservate	No. Osservazioni	Gradigiorno [°C]	b[°C <sup>-1</sup> ]	No. Foglie previste
<b>1</b>	92	73,0 (±11,0)	0,014 (±0,002)	1.07
<b>2</b>	66	95,0 (±17,0)	0,022 (±0,004)	1.38
<b>3</b>	58	146,0 (±36,0)	0,022 (±0,005)	2.11
<b>4</b>	75	193,0 (±30,0)	0,022 (±0,003)	2.75

**Tabella 1.4** - Media e deviazione standard (tra parentesi) dei gradigiorno osservati in campo per le prime quattro foglie del frumento. Il tasso di emergenza delle singole foglie e gli errori corrispondenti sono calcolati utilizzando le medie e dalle deviazioni standard dei gradigiorno. Il valore medio del tasso di emergenza è uguale a 0.022 (±0.007) °C<sup>-1</sup>.

Per prevedere la durata del ciclo spigatura-maturazione fisiologica, il livello di gradigiorno è stato stimato come la media delle sommatoria gradigiorno osservate in campo. Le sommatorie sono state calcolate utilizzando la soglia indicata da Weir *et al.* (1984).

Per il mais il modello di Grant (1989) descrive in maniera sufficientemente accurata l'emissione delle foglie, ma non la comparsa delle setole.

L'unico parametro modificato nel modello è stato perciò l'intervallo tra l'ultima foglia e la comparsa delle setole. Le *Corn Heat Units* (Desiderio e Monotti, 1979) necessarie alla maturazione fisiologica sono state stimate utilizzando le osservazioni in campo disponibili.

La validazione dei modelli (Nerozzi et al., 1998) è stata compiuta comparando le date rilevate in campo  $d^{(oss)}$  e quelle simulate  $d^{(sim)}$ . La "skill" dei modelli fenologici è stata valutata sulla base di alcuni indici statistici e cioè lo scarto lineare medio, lo scarto assoluto lineare medio e lo scarto quadratico medio:

$$\bar{e} = \frac{1}{N} \sum (d^{(sim)} - d^{(oss)})$$

$$|\bar{e}| = \frac{1}{N} \sum |d^{(sim)} - d^{(oss)}|$$

$$\sigma(\bar{e}) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum |d^{(sim)} - d^{(oss)}|^2 - \bar{e}^2}$$

Lo scarto lineare medio (bias)  $\bar{e}$  è una misura della sottostima o sovrastima delle previsioni del modello, mentre lo scarto assoluto medio  $|\bar{e}|$  misura la sua accuratezza (Daughtry et al., 1984). La deviazione standard dello scarto lineare, o errore quadratico medio (rmse), fornisce inoltre un'informazione sulla precisione del modello.

### ***Analisi di sensibilità***

Per valutare la sensibilità del modello rispetto alla data di semina, è stato simulato lo sviluppo delle colture variando, con continuità e per tutti gli anni dal 1986 al 1996, la data di semina dal 1 ottobre al 30 dicembre per il frumento tenero, e dal 15 marzo al 15 maggio per il mais.

In questo caso, per semplicità, sono state utilizzate solamente le medie giornaliere ottenute dai dati di temperatura e di precipitazione rilevati in tutte le stazioni meteorologiche appartenenti alla rete regionale.

Successivamente, per valutare gli effetti della temperatura, queste medie giornaliere sono state aumentate di 1 °C e 2 °C. Per semplicità si è ipotizzato per la temperatura minima e massima un incremento costante per tutto l'anno.

Le medie giornaliere di precipitazione, invece, non sono state modificate. Queste serie di dati sono state utilizzate come input dei due modelli fenologici, imponendo tre date di semina diverse per ogni coltura e, precisamente: il 1 ottobre, il 1 novembre ed il 1 dicembre per il frumento ed il 1 marzo, il 1 aprile ed il 1 maggio per il mais.

L'errore quadratico medio dei modelli (rmse) è dell'ordine di una settimana ed è comparabile con la deviazione standard delle date dei rilievi (Tabella 4).

Fase	Scala numerica	( $\pm \sigma$ )	Fase	Scala numerica	( $\pm \sigma$ )
<b>Semina</b>	1,00	(0,0)	<b>10° foglia</b>	3,23	(0,02)
<b>Germinazione</b>	2,00	(0,01)	<b>11° foglia</b>	3,31	(0,03)
<b>1° foglia</b>	2,08	(0,03)	<b>12° foglia</b>	3,39	(0,01)
<b>2° foglia</b>	2,23	(0,03)	<b>13° foglia</b>	3,46	(0,02)
<b>3° foglia</b>	2,38	(0,03)	<b>14° foglia</b>	3,55	(0,01)
<b>4° foglia</b>	2,53	(0,04)	<b>15° foglia</b>	3,62	(0,01)
<b>5° foglia</b>	2,69	(0,03)	<b>16° foglia</b>	3,70	(0,02)
<b>6° foglia</b>	2,84	(0,03)	<b>17° foglia</b>	3,78	(0,01)
<b>Viraggio apicale</b>	3,00	(0,01)	<b>Comparsa pennacchio</b>	3,90	(0,03)
<b>8° foglia</b>	3,09	(0,03)	<b>Comparsa sete</b>	4,00	(0,01)
<b>9° foglia</b>	3,16	(0,03)	<b>Maturazione fisiologica</b>	5,00	(0,01)

**Tabella 1.5** - Tabella degli scarti tra le previsioni dei modelli e le osservazioni in campo. La deviazione standard si riferisce alle date osservate

In particolare, sia il bias che l'rmse sono più contenuti per la fase di germinazione che per le fasi successive.

Questi risultati non sono molto diversi da quelli presentati in letteratura, in cui l'errore quadratico medio oscilla, in genere, da pochi giorni a poco più di una settimana (Heuer *et al.*, 1978; Maas e Arkin, 1980; French e Hodges, 1985; McMaster e Smika, 1988).

Per il modello del frumento, il periodo di semina influenza prevalentemente il viraggio apicale (fino a sette giorni, in media). Viceversa, in fase di spigatura e di maturazione, il numero minore di foglie delle piante seminate tardivamente porta ad annullare eventuali differenze con le piante seminate anche precocemente.

La data di semina è particolarmente importante nel modello del mais. C'è, in generale, una tendenza a posticipare la comparsa delle fasi fenologiche in funzione del ritardo della data di semina. Il viraggio apicale è la fase più sensibile, mentre la maturazione fisiologica quella meno sensibile. E' importante rilevare che il numero

Nel frumento, l'incremento di temperatura porta generalmente ad un anticipo del viraggio apicale maggiore rispetto a quello che si osserva per le altre fasi. Ciò comporta un allungamento delle fasi comprese tra viraggio e maturazione, che diviene via via meno consistente con il ritardo della semina.

Nel mais la durata della fase di germinazione non è molto sensibile all'incremento di temperatura (meno di una settimana per la semina precoce), ma è fortemente condizionata dalla data di semina:

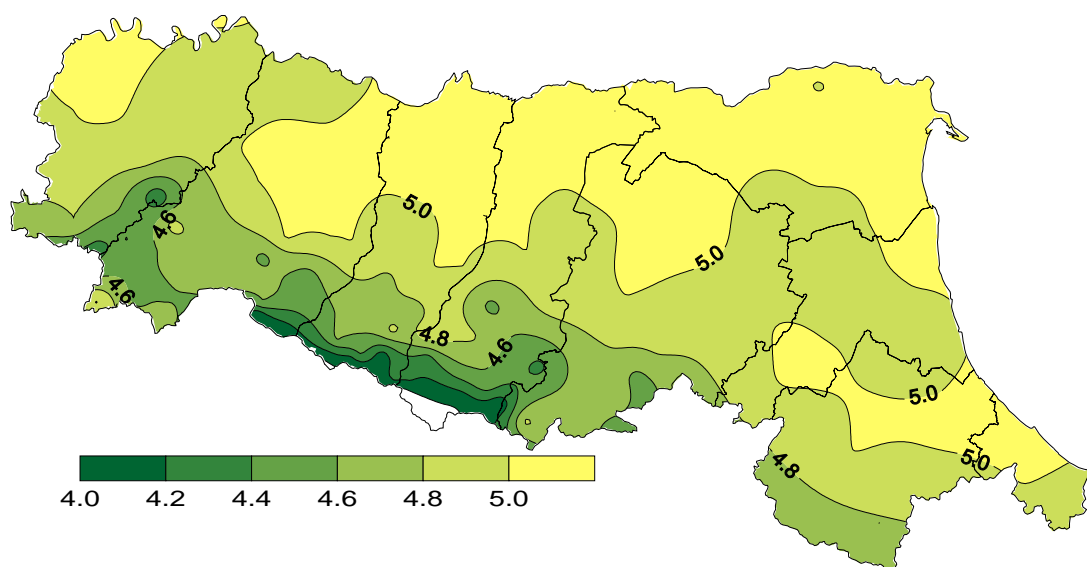
una semina precoce può allungare la fase semina-germinazione fino a quasi tre settimane (Tabella 1.6).

Mais	Semina	Germinazione	Viraggio	Comparsa Sete	Maturazione	No. foglie
med. clim.	60	79	115	178	229	18
+1 °C	60	77	110	170	220	17
+ 2 °C	60	74	106	164	212	17
med. clim.	91	98	132	186	236	19
+1 °C	91	97	129	180	228	18
+ 2 °C	91	97	127	175	222	18
med. clim.	121	127	152	199	249	19
+1 °C	121	126	151	194	242	19
+ 2 °C	121	126	148	191	238	19

**Tabella 1.6** - Sensibilità del modello del mais all'incremento della temperatura.  
Le date sono espresse in giorni dell'anno

Gli scarti tra i risultati dei modelli e i rilievi in campo, comunque contenuti in pochi giorni, possono essere imputati anche a cause diverse. I possibili errori sistematici delle misure di temperatura giornaliera, anche se relativamente modesti, la climatologia del campo in cui sono effettuati i rilievi fenologici, che può essere diversa da quella della stazione più vicina.

Da un punto di vista operativo, questi modelli possono essere utilizzati quando sono inseriti in un Sistema Informativo Geografico (GIS), con il quale è possibile ottenere in tempo reale una mappa dello stato delle colture sul territorio. Tale procedimento viene ad oggi utilizzato da ARPA-SIM in collaborazione con il Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali della Facoltà di Agraria di Bologna, per la realizzazione di mappe fenologiche che ci consentono di individuare geograficamente un vero e proprio gradiente di sviluppo delle fenofasi in funzione della latitudine e dell'altitudine (fig. 14).



**Figura 1.14** Mappe fenologiche in cui la tonalità dei colori individuano gli stadi di sviluppo della coltura del frumento in Emilia Romagna in funzione della posizione geografica.

## 1.4 Cereali

### 1.4.1 Frumento

#### *Storia del frumento*

Il frumento era in origine una graminacea selvatica chiamata *einkorn*. Circa 10.000 anni fa, questa pianta rappresentava l'alimentazione fondamentale delle società di cacciatori/raccoglitori in Mesopotamia e nelle valli del Tigri e dell'Eufrate in Medioriente, nell'area chiamata della Mezzaluna Fertile. La grande quantità di semi che si poteva ottenere da queste piante convinse, quelle popolazioni a creare villaggi stanziali e segnò l'inizio dell'agricoltura moderna. Oggi gli alimenti sono costituiti più da varietà moderne di frumento, gradualmente modificato nel corso dei secoli, che da qualunque altro cereale.

Quando il frumento selvatico è maturo i suoi semi, avvolti da un involucro, cadono dalla spiga sul terreno, riducendo così il raccolto. La trasformazione in frumento moderno, i cui semi nudi rimangono attaccati alla spiga, si è verificata grazie ad ibridazioni casuali tra l'*einkorn* ed altre graminacee selvatiche nell'area della Mezzaluna Fertile.

Ciascuna ibridazione ha dato luogo a diverse combinazioni di cromosomi (nei quali è contenuta l'informazione genetica) e a differenti caratteristiche nelle generazioni successive. In due di queste ibridazioni, l'*einkorn* (cromosomi AA) si è combinato con due altre graminacee selvatiche (BB e DD) dando come risultato il frumento da pane contemporaneo (AABBDD).

Le popolazioni della Mezzaluna Fertile che mietevano il frumento, tendevano maggiormente a raccogliere i semi che erano saldamente attaccati alla spiga piuttosto che quelli sciolti. Poiché le generazioni successive mantennero questa caratteristica, quando iniziarono a piantare i propri semi furono coltivate sempre più varietà con semi saldamente attaccati e nudi rispetto a quelle con i semi rivestiti. In questo modo il frumento cominciò a modificarsi in modo tale che oggi, nel frumento coltivato, i semi rimangono attaccati alla spiga in tutte le piante.

I progenitori genetici del frumento attuale si trovano ancora nella Mezzaluna Fertile e sono tuttora usati per esperimenti di riproduzione. Per questo motivo quell'area viene definita anche il Centro del Gene del Frumento (*Wheat Gene Centre*).

A partire da questi inizi promettenti, ulteriori successi nella selezione del frumento sono stati raggiunti mediante ibridazione e incroci programmati e successiva selezione dei risultati migliori. L'uso dell'incrocio e della selezione ha portato alla cosiddetta rivoluzione verde degli anni '60 e '70, in cui si verificò un incremento della produzione di frumento fino al 35%.

Gli incroci non sono possibili solo tra individui della stessa specie ma anche, in misura limitata, tra specie diverse. Ad esempio, l'incrocio tra il grano duro e la segale ha dato origine al Triticale, in cui

sono state combinate la produttività e la qualità del seme di frumento con le caratteristiche agronomiche della segale, che può venire coltivata anche nei terreni più poveri. I programmi di incrocio tradizionale hanno certamente fornito uno strumento potente per utilizzare la variabilità genetica delle piante coltivate al fine di nutrire la popolazione mondiale. Si pone, tuttavia, il problema se tali metodi saranno adeguati per nutrire la popolazione in continua crescita del prossimo millennio (<http://www.eufic.org/article/it/nutrizione/capire-cibo/artid/origine-pane/> ).

### ***Areali di coltivazione e periodo di sviluppo dei frumenti***

L'intervento del miglioramento genetico nelle varietà di frumento ed il cambiamento climatico in atto, hanno permesso nel tempo la grande diffusione di questo cereale dai climi subpolari a quelli subtropicali.

Nell'immagine in figura 1.15 vengono indicate in verde tutte le zone dove il grano viene coltivato. In rosso viene evidenziata la “culla” di origine del frumento, ovvero la zona della mezza luna fertile della quale nel paragrafo precedente si è già parlato e nella quale attualmente si collocano gran parte della Turchia, la Siria, l'Iraq, il Turkmenistan, il Kazakistan e la parte settentrionale dell'Iran.



**Figura 1.15** - Tutti gli areali di coltivazione del frumento

Nei climi temperati, con inverni non eccessivamente freddi, come l'Italia, il frumento viene coltivato quasi esclusivamente con semina autunnale: nelle regioni settentrionali e in quelle ad elevata altitudine le semine iniziano già da settembre/ottobre, mentre nell'Italia centrale e meridionale iniziano a novembre protraendosi fino a dicembre.



L'epoca di semina va comunque stabilita ben conoscendo il clima della regione e i caratteri di sviluppo della varietà che si intende seminare.

Le varietà autunnali hanno bisogno di un certo periodo di tempo di basse temperature per passare dalla fase vegetativa a quella riproduttiva e quindi vanno seminate in autunno; le varietà primaverili non hanno questa necessità e pertanto possono essere seminate indifferentemente in autunno o in primavera.

- Il frumento tenero

La produzione italiana di frumento tenero (*Triticum aestivum*) è concentrata prevalentemente al Centro-Nord e copre solo in parte il fabbisogno nazionale (55%).

La superficie investita, dopo una forte contrazione verificatasi negli anni '80 soprattutto al Nord, a vantaggio di colture più produttive e redditizie, quali il mais, l'orzo, la barbabietola e la soia, ha recentemente ripreso ad aumentare a seguito della politica di aiuti comunitari.

Il frumento tenero si adatta soprattutto ai terreni ben dotati, di medio impasto ed argillosi, mentre dà produzioni scadenti in suoli sabbiosi, poveri e a reazione acida. Le varietà a semina autunnale coltivate in Italia sopportano bene i freddi invernali e richiedono, a partire dalla levata, temperature crescenti. In fase di maturazione il frumento si avvantaggia di un clima caldo e poco piovoso.

- Il frumento duro

Fino agli anni '60 il frumento duro (*Triticum durum*) era considerato un cereale per ambienti poveri e caldi; a partire dagli anni '80 però la coltivazione si è sviluppata sia al Centro che al Nord Italia, prima come coltura alternativa primaverile e poi come coltura autunnale. L'espansione è stata favorita dall'introduzione di nuove varietà molto produttive e resistenti al freddo. Il frumento duro si dimostra in generale discretamente resistente alla siccità e molto produttivo se coltivato in terreni fertili, per contro spesso è sensibile alle crittogame (fusariosi, septoriosi, oidio, ruggini) e facile all'allettamento. In Italia la coltivazione è localizzata al Centro-Sud ed in particolare nella Puglia ed in Sicilia.

Negli ultimi anni l'area di coltivazione si è estesa anche alle zone più settentrionali nelle quali però non sempre si ottengono produzioni qualitativamente valide. Infatti l'ambiente ottimale per la coltivazione è caratterizzato da piovosità concentrata nel periodo invernale e da primavere ed estati calde senza pericoli di gelate tardive.

### ***Descrizione dello sviluppo fenologico***

Lo sviluppo fenologico del frumento viene tradizionalmente suddiviso in sei fasi: germinazione, accestimento, levata, spigatura, fioritura e maturazione.

La germinazione avviene alla temperatura di pochi gradi sopra lo zero con la rottura degli involucri di rivestimento del seme e la comparsa della radichetta primaria a cui segue la comparsa di altre radichette secondarie.

Contemporaneamente fuoriesce la piumetta che, rivestita dal coleoptile si dirige verso la superficie del suolo, a livello del quale fuoriesce distendendo la fogliolina. Dopo che la piantina ha disteso 3-4 foglie, il nodo basale del culmo si ingrossa e da esso fuoriescono le radici avventizie. Da questo momento inizia la fase di accestimento.

Con l'accestimento la pianta completa l'apparato radicale ed emette nuovi germogli a partire dall'ascella della prima foglia; segue la formazione di altri germogli che si originano sia dalla pianta madre che dai culmi di accestimento già formati.

Questa fase termina con la differenziazione negli apici vegetativi degli abbozzi delle future spighe.

Nel corso dell'accestimento i nodi di ciascun germoglio sono perlopiù ravvicinati, ma non appena l'aumento delle temperature primaverili lo permette, gli internodi, a partire da quello più in basso, si allungano, manifestando la levata.

Quasi al termine della levata, quando solo all'ultimo internodo deve ancora allungarsi, si giunge alla fase la "botticella" rappresentata dal dilatarsi della guaina dell'ultima foglia a causa l'ingrossamento della spiga contenuta in essa e che ha terminato la sua differenziazione.

Con l'allungamento dell'ultimo internodo si ha la fuoriuscita della spiga (spigatura) a cui segue dopo pochi giorni la fioritura.

La fecondazione è autogama e avviene prima dell'apertura delle glumelle. Avvenuta la fecondazione, con l'ingrossamento dell'ovario, inizia la formazione e la maturazione della cariosside che attraversa quattro fasi, distinguibili per la progressiva perdita di acqua e il contemporaneo aumento di sostanze di riserva: maturazione latte, maturazione cerosa, maturazione piena e maturazione di morte.

Con la maturazione di morte le cariossidi raggiungono il minimo contenuto in acqua (circa 13%), ma è nella fase di maturazione piena che risulta più opportuno mietere, in quanto già in quel transito l'accumulo delle sostanze di riserva è terminato e si corrono minor rischi di perdita di raccolto dovuto all'incipiente fragilità delle piante.

### ***Frumento tenero: mercato mondiale attuale***

La grande varietà dalle classi produttive e l'altissima domanda per l'utilizzo in trasformazione, fanno del grano tenero una specie ampiamente presente in moltissime zone del pianeta.

Non è un caso che la quantità di grano tenero prodotta a livello mondiale si aggira intorno ai 600 Mt, mentre il duro intorno a valori molto piccoli dell'ordine delle 30-31 Mt. Come rappresentato

nella mappa in fig. 1.15 gli areali di coltivazione sono molteplici e si possono individuare in ognuno dei cinque continenti.

Dopo aver inquadrato i maggiori areali produttivi, cerchiamo di capire chi sono i maggiori produttori e come si muove il mercato di questo cereale.

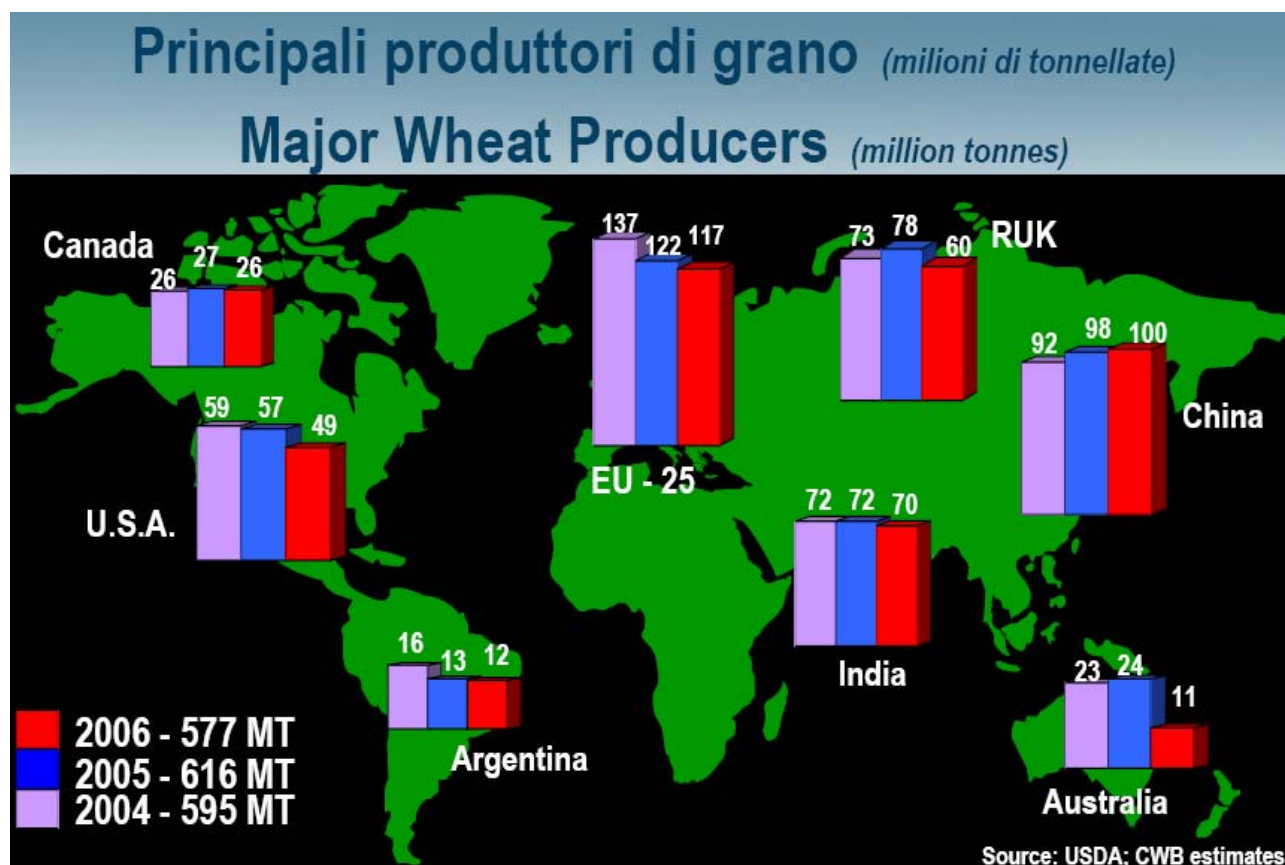
COUNTRY	2003	2004	2005 (est.)	Million tons 2006 (f'cast.)	
				25.01.07	22.02.07
<b>EUROPE</b>	<b>113.9</b>	<b>153.1</b>	<b>138.1</b>	<b>129.7</b>	<b>129.7</b>
EU-27	106.2 a)	136.1 a)	133.7	125.3	125.3
Bulgaria	(1.7)	(3.6)	3.5	3.2	3.2
Czech Rep.	2.6	5.0	4.1	3.6	3.6
Denmark	4.7	4.8	4.8	4.8	4.8
France	30.5	39.7	37.0	35.5	35.5
Germany	19.3	25.4	23.6	22.0	22.0
Hungary	2.9	6.0	5.1	4.4	4.4
Greece	1.0	1.2	1.1	1.2	1.2
Italy	6.2	8.6	7.3	7.2	7.2
Poland	7.9	9.9	8.8	7.1	7.1
Romania	(2.5)	(7.8)	7.6	5.0	5.0
Slovakia	0.9	1.7	1.6	1.4	1.4
Spain	6.1	6.8	3.3	5.6	5.6
Sweden	2.3	2.4	2.3	2.0	2.0
United Kingdom	14.3	15.5	14.9	14.7	14.7
Other EU	7.5	9.1	8.7	7.7	7.7
Serbia & Montenegro	1.4	2.8	2.1	1.8	1.8
Others	2.2	2.7	2.3	2.6	2.6
<b>CIS</b>	<b>61.4</b>	<b>84.9</b>	<b>92.1</b>	<b>85.6</b>	<b>85.6</b>
Kazakhstan	11.5	9.9	11.0	12.5	12.5
Russia	34.1	45.4	47.6	44.9	44.9
Ukraine	3.6	16.5	18.7	13.9	13.9
Other CIS	12.3	13.0	14.8	14.2	14.2
<b>N &amp; C AMERICA</b>	<b>90.3</b>	<b>87.5</b>	<b>87.1</b>	<b>79.7</b>	<b>79.7</b>
Canada	23.6	25.9	26.8	27.3	27.3
Mexico	2.9	2.9	3.0	3.1	3.1
USA	63.8	58.7	57.3	49.3	49.3
Others	T	T	T	T	T
<b>SOUTH AMERICA</b>	<b>23.5</b>	<b>25.3</b>	<b>20.0</b>	<b>18.9</b>	<b>18.7</b>
Argentina	14.6	16.0	12.6	14.0	14.0
Brazil	5.9	6.0	4.9	2.5	2.3
Chile	1.8	1.9	1.5	1.4	1.4
Uruguay	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
Others	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
<b>NEAR EAST ASIA</b>	<b>40.0</b>	<b>41.8</b>	<b>41.2</b>	<b>38.7</b>	<b>39.7</b>
Iran	13.5	14.0	14.5	14.0	14.0
Saudi Arabia	2.0	2.1	2.2	2.1	2.1
Syria	4.7	4.5	4.7	3.8	3.8
Turkey	18.5	18.5	18.0	17.0	18.0
Others	1.3	2.7	1.8	1.8	1.8
<b>FAR EAST ASIA</b>	<b>179.0</b>	<b>190.9</b>	<b>195.3</b>	<b>202.4</b>	<b>202.4</b>
Pacific Asia	87.7	93.3	98.8	104.9	104.9
China	86.5	92.0	97.5	103.5	103.5
Others	1.2	1.4	1.4	1.4	1.4
South Asia	91.3	97.6	96.5	97.5	97.5
Afghanistan	4.4	4.0	4.3	4.4	4.4
India	65.1	72.1	68.6	69.5	69.5
Pakistan	19.2	19.5	21.6	21.7	21.7
Others	2.7	2.0	2.0	1.9	1.9
<b>AFRICA</b>	<b>21.4</b>	<b>21.9</b>	<b>20.3</b>	<b>23.9</b>	<b>23.9</b>
North Africa	17.1	17.3	15.4	18.7	18.7
Algeria	3.0	2.7	2.4	3.0	3.0
Egypt	6.8	7.2	8.1	8.2	8.2
Libya	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
Morocco	5.1	5.5	3.0	6.1	6.1
Tunisia	2.0	1.7	1.6	1.3	1.3
Sub-Sahara	4.4	4.6	4.9	5.2	5.2
Ethiopia	1.8	1.6	2.0	2.0	2.0
South Africa	1.5	1.7	1.9	2.2	2.2
Others	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0
<b>OCEANIA</b>	<b>26.4</b>	<b>22.9</b>	<b>25.4</b>	<b>10.3</b>	<b>10.3</b>
Australia	26.1	22.6	25.1	10.0	10.0
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>556.1</b>	<b>628.3</b>	<b>619.5</b>	<b>589.2</b>	<b>590.0</b>

a) 2003 and 2004 EU-25

**Tabella 1.7** Quadro generale indicante la produzione di grani teneri nel mondo dal 2003 al 2007 (previsioni)

Nella mappa in figura 1.16, i cui dati sono resi noti dal CWB (Canadian Wheat Board), si evidenziano i valori produttivi delle zone di coltivazione.

Come anche è riferito maggiormente nel dettaglio nella tabella 1.7 dell'IGC (International Grain Council) l'Europa, considerata ancora a 25 membri, risulta essere il più grande produttore di frumento al mondo con un massimo produttivo raggiunto nel 2004 di circa 137 milioni di tonnellate (Mt); l'Italia si trova ad essere negli ultimi 3 anni di dati, il quarto produttore in Europa dopo Francia Germania ed Inghilterra con un ammontare di circa 7,2 Mt di grano.



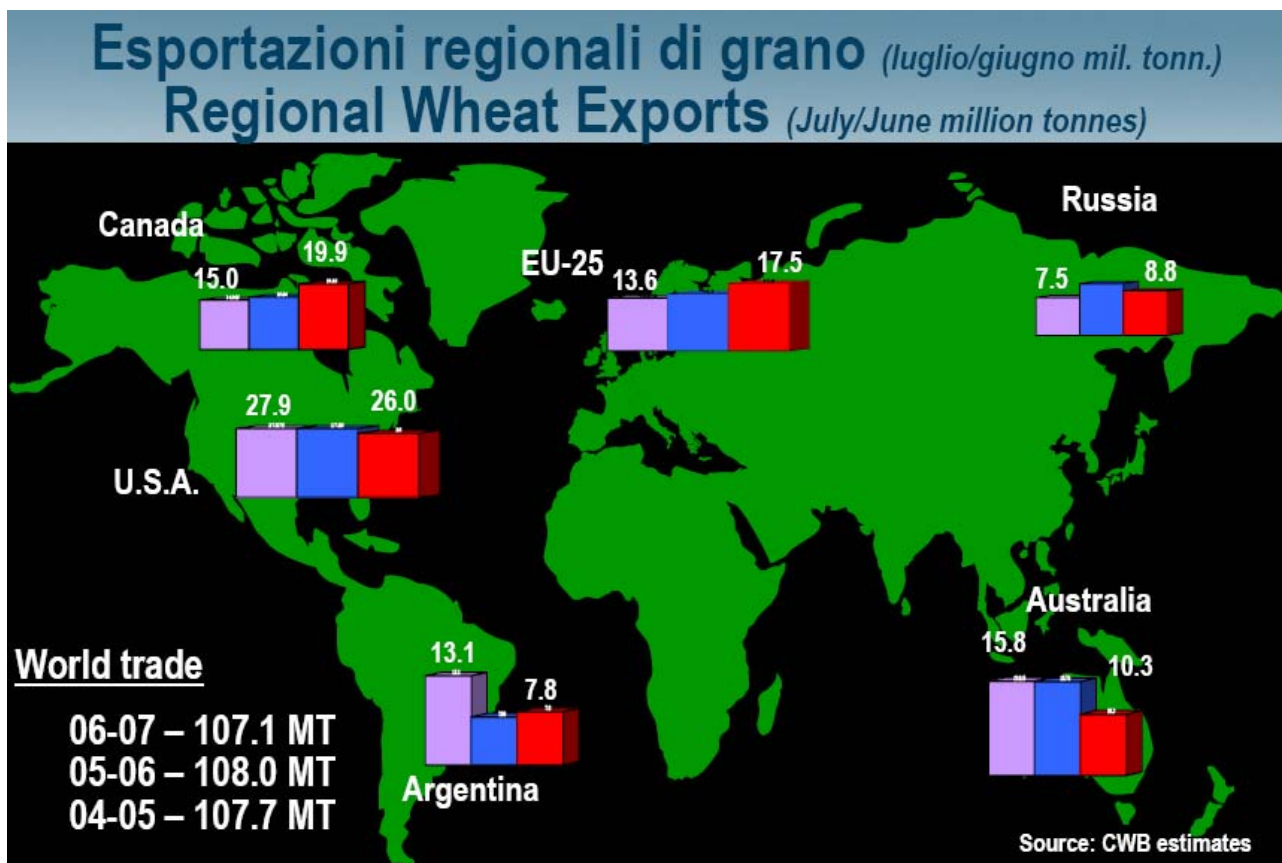
**Figura 1.16** - Principali paesi produttori di grano tenero nel mondo

Allargando lo sguardo alla finestra mondiale vediamo come anche la China spinga molto sull'acceleratore produttivo con una punta nel 2006 di 100 Mt.

Grandi produttori sono anche la Russia con un picco di 78 Mt nel 2005, l'India con una media negli ultimi anni intorno alle 71 Mt e Stati Uniti d'America anche se la produzione dalle 59 Mt del 2004 è scesa a 49 Mt nel 2006.

Canada e Australia più che per l'importanza produttiva entrano prepotentemente nel mercato mondiale per quel che concerne le esportazioni (fig. 1.17).

Oltre gli Stati Uniti che padroneggiano la scena degli export con un valore che si aggira intorno ai 27 Mt, l'Australia risulta essere un grande esportatore di tenero anche se nel 2006 c'è stato un forte abbassamento delle esportazioni (15 Mt) a causa del dimezzamento delle produzioni (11 Mt), dovuto alle avverse condizioni climatiche dell'ultima annata agraria.



**Figura 1.17** - Principali paesi esportatori di grano tenero nel mondo dal 2004 al 2007 (previsioni)

Come risulta dalla mappa in figura 1.17 anche il Canada a parità del quantitativo prodotto risulta essere un forte esportatore (quasi 20 Mt nel 2006), mentre l'Europa per la grande produzione condotta non può essere ritenuta tale.

### ***Il mercato mondiale del frumento duro***

A dispetto dell'importanza che questo cereale ricopre nel "paese della pasta", la coltivazione e la produzione di frumento duro è da sempre deficitaria comparata all'utilizzo che se ne fa. Infatti l'Italia da sempre è importatrice di grano duro soprattutto dalla lontana America del Nord. Ad eccezione di due grandi areali rintracciabili nelle Marche e nel nord della Puglia in Italia si dà spazio molto più alla coltivazione di frumento tenero che di duro. Tale posizione del mercato italiano ha portato negli anni a dover richiedere grano in buona parte dall'estero, per un valor che si aggira mediamente intorno al 35-40% del frumento duro utilizzato per la pastificazione, sottoprodotti ed eventuali panificazioni. Per rendersi conto di come si colloca l'Italia nel contesto del grano duro è quindi d'obbligo aprire una finestra nel panorama mondiale. Secondo le statistiche riportate dal CWB (Canadian Wheat Board) la produzione di grano duro nel mondo si aggira (fig.1.18) nell'ultimo decennio dalle 29,7 milioni di tonnellate (Mt) del 1995 -'96 alle 40,5 Mt del 2004-'05 annata in cui anche in Italia ci fu un vero e proprio *boom* produttivo. Secondo le

prospettive sulla base dei parametri climatici si stima che nella corrente annata agraria la produzione mondiale di grano duro dovrebbe essere intorno alle 33,5 milioni di tonnellate.

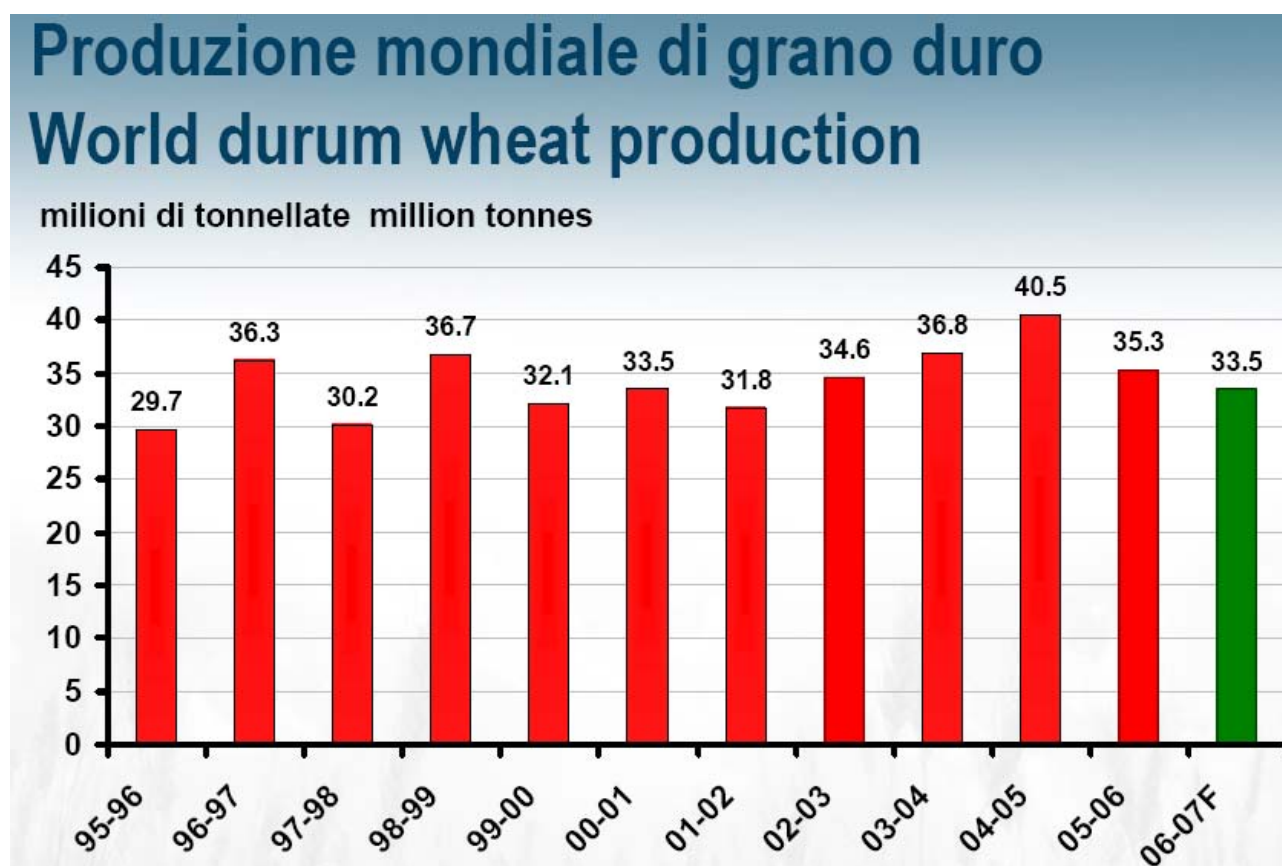


Figura 1.18 - Produzione di grano duro nel mondo (Gillen, 2007)

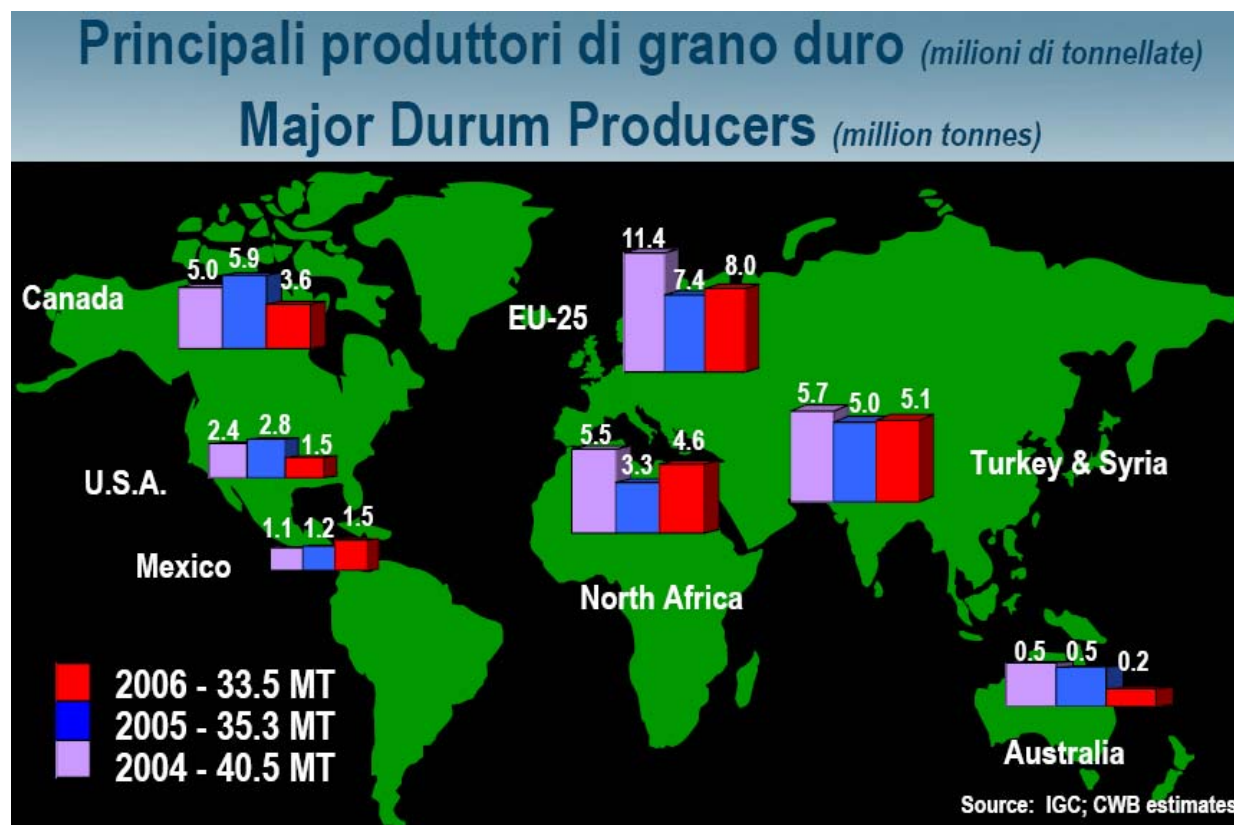
La produzione di tale cereale nel mondo ci fa capire come il *business* possa superare le abitudini alimentari di un paese. Infatti in Canada, paese certamente lontano dalla tipica cultura della una cultura italiana della pasta, avviene la maggiore coltivazione di frumento duro a livello nazionale. Nella figura 1.19 sono evidenziate le zone in cui si ha la maggiore produzione di grano duro. In Europa la produzione negli ultimi 3 anni si è aggirata intorno ad un valore medio di circa 10 milioni di tonnellate con un picco nel 2004 di 11,4 Mt. In Europa come riportato nella tabella *supply-demand*, i paesi che dettano le leggi di mercato sono Italia, Francia, Spagna e Grecia (tab.1.8).

TOTALE: Luglio ' 06 - Giugno '07				Dati in .000 t grano equivalente			
SUPPLY-DEMAND EUROPA    Luglio ' 06 - Giugno '07							
	U.E.	Italia cont	Italia isole	Francia	Spagna	Grecia	Altri U.E.
RIMANENZE INIZIALI	2.218	1.510	357	90	109	64	88
PRODUZIONE	8.107	2.778	600	2.180	1.590	848	112
IMPORT GRANELLA	1.397	1.007	0	0	0	0	390
INTERSCAMBIO U.E.	0	674	15	-592	-256	-126	285
DISPONIBILITA'	11.721	5.968	972	1.678	1.442	786	875

Tabella 1.8 - Demand-Supply europeo di grano duro (Bertuzzi F., 2007)



Analizzando le prospettive di produzione attualizzate ad oggi, l'Italia comprese le isole avrebbe una produzione di circa 3,3 milioni di tonnellate di grano duro, la Francia al secondo posto con 2,2 milioni di tonnellate, la Spagna con circa 1,6 milioni di tonnellate e la Grecia che si prospetta di poco sotto al milione di tonnellate.



**Figura 1.19** - Distribuzione geografica dei maggiori produttori di grano duro

Tornando al panorama mondiale nella figura 1.19 si evidenzia come nel nord Africa i valori produttivi presentano una media di circa 4,6 milioni di tonnellate con un massimo raggiunto nel 2004 di 5,5 Mt.

Altri grandi produttori sono anche la Turchia e la Siria con una produzione media in tonnellate di circa 5,4Mt.

Paesi in cui la coltivazione del frumento duro è rilevante, ma di entità più modeste rispetto alle sopra citate, sono gli Stati Uniti d'America, l'Australia ed il Messico.

Molto interessante risulta essere il discorso delle importazioni, dove il bacino del Mediterraneo, può essere definito come il buco nero del grano duro; difatti sia l'Europa che il nord Africa risultano essere i più grandi importatori di duro del mondo.

In Italia (tab.1.8) si deduce come circa un terzo del grano duro utilizzato venga importato soprattutto da Francia, Spagna, Grecia e Canada, paese in cui processi di trasformazione, come la pastificazione sono pressochè assenti.

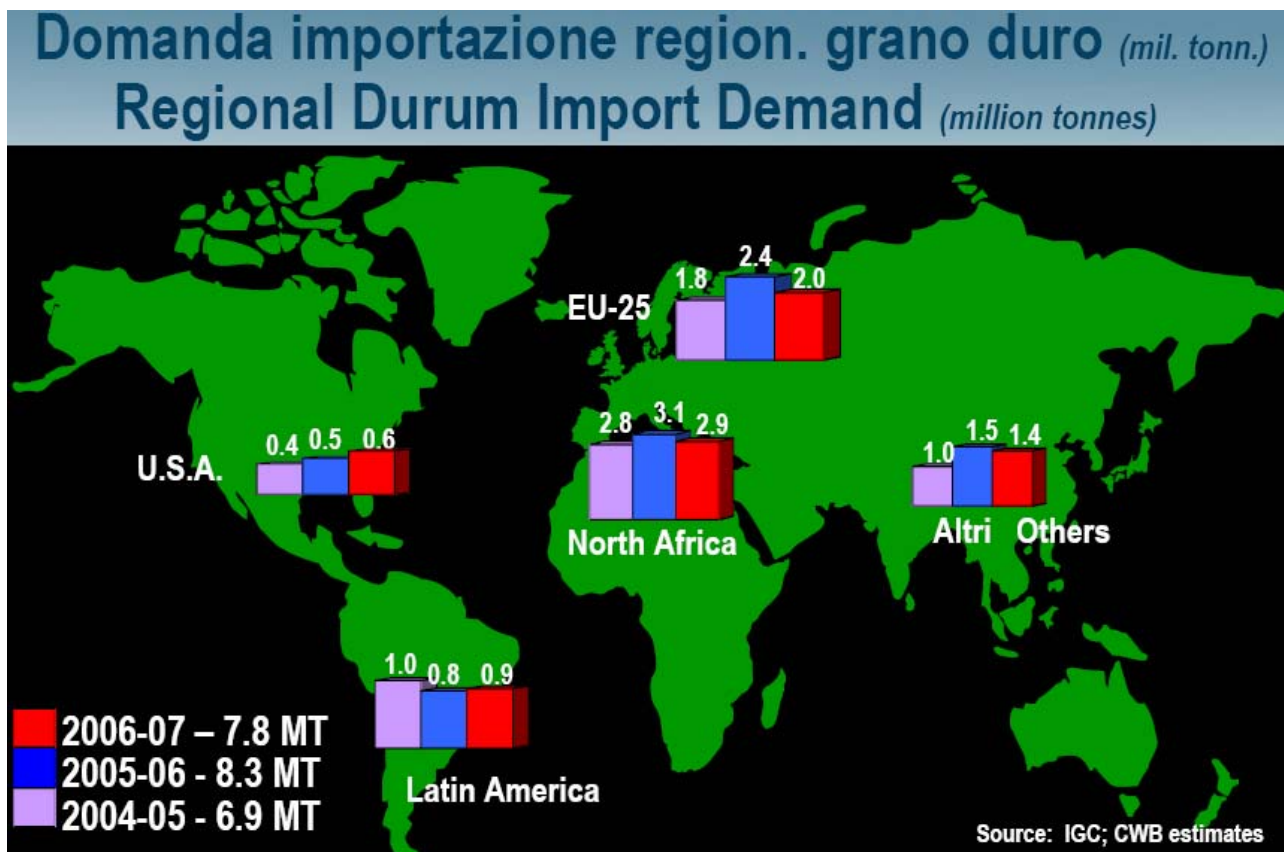


Figura 1.20 - Quadro geografico mondiale di richiesta d'importazione di grano duro

Dalla figura sottostante è palese la situazione di esportazione di grano duro che risulta essere ingente soprattutto in Canada e Stati Uniti d'America.

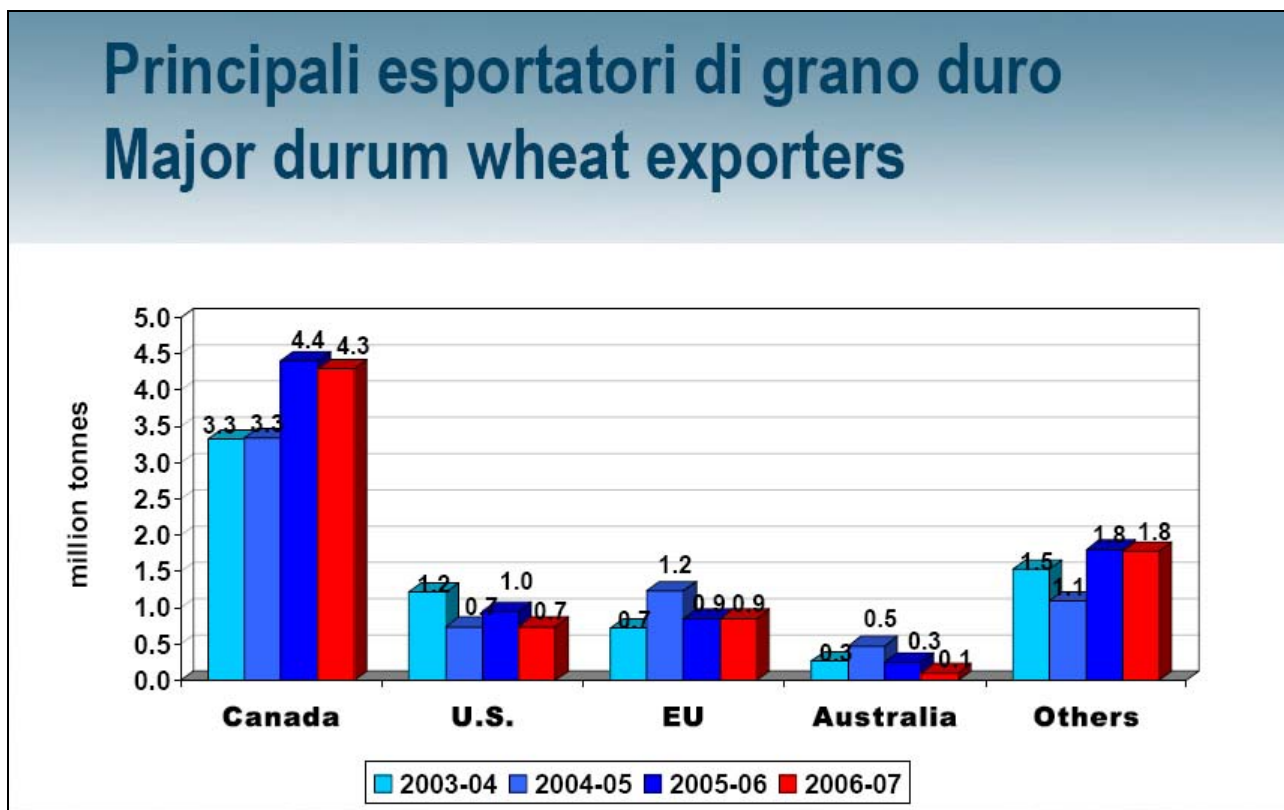


Figura 1.21 - Quadro di esportazione mondiale di grano duro dal 2003/04 al 2006/07



In particolar modo il Canada (fig.1.21 e tab.1.9) risulta essere quasi totalmente esportatore della propria produzione di grano duro per un ammontare nel 2006 di circa 4,4 Mt, quantità comprensiva delle scorte delle annate precedenti. In Europa il paese maggior esportatore di grano duro risulta essere la Francia, nazione produttrice di varietà di grano duro altamente proteico e quindi di ottima qualità. Nella figura 1.20 sono rappresentati tutti i valori stimati sulla base degli ultimi dati dell'CWb comprensivi delle previsioni 2006/07.

<b>Commercio</b> in migliaia di tonnellate				
<b>Trade</b> in thousand tonnes				
		2005-06	2006-07	Change
<b>Importaz.</b> <b>Imports</b>	<b>Europe</b>	2,400	1,950	- 450
	<b>U.S</b>	500	630	+ 130
	<b>Africa</b>	3,250	2,975	- 275
	<b>Latin America</b>	840	860	+ 20
	<b>Others</b>	1,270	1,360	+ 90
<b>Esportaz.</b> <b>Exports</b>	<b>Canada</b>	4,410	4,300	-110
	<b>EU</b>	850	850	
	<b>U.S.</b>	950	740	- 210
	<b>Mexico</b>	620	550	- 70
	<b>Syria</b>	475	450	- 25
	<b>Australia</b>	250	100	- 150
	<b>Others</b>	705	785	+ 80
<b>World</b>		<b>8,260</b>	<b>7,775</b>	<b>- 485</b>

**Tabella 1.9** - Commercio mondiale di grano duro nella produzione 2005/06 e previsioni per l'annata agraria in corso

## 1.4.2 Orzo

### *Storia e curiosità*

La storia dell'orzo affonda le proprie radici nelle origini dell'uomo. In cucina l'orzo è un alimento molto usato. In campo estetico il decotto si usa sulle pelli arrossate come decongestionante. Dal seme si ottengono la semola ed i fiocchi, mentre dalle cariossidi tostate e macinate si ricava un caffè dalle proprietà nutrienti senza peraltro essere eccitante.

L'Orzo, conosciuto da più di dodici millenni, è originario dell'Asia occidentale e Africa occidentale e si diffuse rapidamente nel bacino mediterraneo, come narra Plinio, quale cibo speciale per i gladiatori, che venivano, infatti chiamati, "hordearii" cioè mangiatori d'orzo. Fu uno dei rimedi più utilizzati da Ippocrate che ne tesse gli elogi nel Regime delle malattie acute: "Sembra dunque che il

decotto d'orzo sia stato correttamente prescelto tra le vivande cereali in questi morbi e io lodo quelli che lo hanno prescelto. Il suo glutine infatti è liscio, consistente e confortante, fluido e umido misuratamente, dissetante e di facile escrezione, se ce ne fosse bisogno; non comporta astringenza né brutta agitazione, né rigonfia il ventre." Il decotto di orzo è ancor oggi conosciuto come la "tisana di Ippocrate", recenti esperienze cliniche confermano che la frazione mucillaginosa dell'Orzo concentra e amplifica le proprietà curative del decotto serbando totalmente il tropismo elettivo (il movimento in risposta a uno stimolo esterno) per il lume intestinale. In caso di assunzione di rimedi probiotici (cioè naturali, come appunto Wonderup) la mucillagine di Orzo ne facilita e migliora l'azione.

### ***Areali di coltivazione dell'orzo***

L'orzo è una delle piante coltivate a maggior diffusione, data l'ampia adattabilità alle condizioni climatiche e la disponibilità di numerose varietà.

Si distinguono infatti gli orzi polistici che presentano 6 file di fiori fertili, e gli orzi distici, che hanno solo due file di fiori fertili, tali caratteristiche fanno sì che il suo areale di diffusione si estenda dalla regione nord-africana e mediterranea al Centro-Nord Europa, fino alle regioni centrali del continente asiatico e alla regione andina (fig. 1.22).



**Figura 1.22** - Tutti gli areali di coltivazione dell'orzo

Anche l'orzo come i frumenti trova la sua "culla di origine" nella zona della Mezza Luna Fertile estesa però a gran parte della penisola araba (in rosso nella figura 1.22).

### **Considerazioni botaniche e periodo di sviluppo della coltura**

L'orzo, *Hordeum vulgare*, è una pianta erbacea annuale della famiglia delle Graminacee ed è coltivato da tempi antichissimi e il suo areale di distribuzione va dalle regioni subtropicali a quelle sub-polari, sia a livello del mare che in quota. Questa grande adattabilità dell'orzo è dovuta alla molteplicità di cultivar esistenti entro la specie e, soprattutto, alla sua grande velocità di sviluppo che gli permette di maturare e sfruttare al meglio sia la breve stagione delle piogge di certe regioni aride, che la breve estate delle regioni nordiche.

Grazie alla sua precocità e alle scarse esigenze idriche, dovunque ci sia da temere la siccità l'orzo è il cereale più indicato e spesso è presente nei terreni meno favorevoli dove non si possono attuare altre coltivazioni.

L'orzo è pianta cespitosa e fra i cereali è quella che accestisce più abbondantemente; presenta un culmo molto robusto, di diametro maggiore rispetto a quello del frumento, le cui foglie hanno la ligula assai sviluppata, così come le auricole che abbracciano il culmo stesso.

L'infiorescenza, come nel frumento, è una pannocchia apicale detta comunemente "spiga", costituita da un rachide formato da numerosi nodi ravvicinati, in corrispondenza dei quali, in posizione alterna, sono inserite tre spighe.

Il frutto, è una cariosside allungata che presenta un solco longitudinale sulla faccia interna. Viene variamente utilizzato, sia per l'alimentazione umana che animale, sia per la produzione di malto e, raccolto ancora verde, può essere impiegato come foraggio.

In base all'epoca di semina gli orzi si distinguono in autunno-vernini e primaverili, che hanno ciclo più breve e consentono di effettuare semine all'inizio della primavera in quelle aree geografiche dove il clima è caratterizzato da inverni molto freddi e lunghi.

In Italia l'orzo è con modalità colturali simili a quelle del frumento, ma la mietitura deve essere fatta con un certo anticipo per evitare le perdite dovute allo sgranamento delle spighe, anche se gli orzi destinati alla produzione della birra si raccolgono a perfetta maturazione.

In tabella 1.10 si riporta uno schema generale del periodo di sviluppo dell'orzo alle latitudini dell'Italia centro-settentrionale.

G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
Anno solare												Anno solare											

**Tabella 1.10** - Ciclo biologico dell'orzo rappresentato in mesi dell'annata agraria

### **Il mercato mondiale dell'orzo**

Nella tabella 1.11 vengono indicati tutti i valori produttivi dei principali paesi produttori di orzo. In Europa la produzione media degli ultimi 4 anni ha avuto una quantità intorno ai 57 Mt con un picco

nel 2004 di oltre 65 Mt. Le previsioni per il 2007 comunque dovrebbero dimensionare la produzione sui valori medi.

COUNTRY	2003	2004	2005 (est)	Million tons 2006 (f'cast.)	
				25.01.07	22.02.07
<b>EUROPE</b>	<b>56.7</b>	<b>65.8</b>	<b>56.5</b>	<b>57.4</b>	<b>57.4</b>
EU-27	54.4 a)	61.6 a)	54.9	55.7	55.7
Bulgaria	(0.5)	(1.0)	0.7	0.6	0.6
Czech Rep.	2.1	2.3	2.2	2.0	2.0
Denmark	3.8	3.6	3.8	3.3	3.3
Finland	1.7	1.7	2.1	1.8	1.8
France	9.8	11.0	10.4	10.5	10.5
Germany	10.6	13.0	11.6	11.7	11.7
Hungary	0.8	1.4	1.2	1.1	1.1
Poland	2.8	3.6	3.6	3.2	3.2
Romania	(0.5)	(1.5)	1.2	0.7	0.7
Spain	8.7	10.6	4.5	8.1	8.1
Sweden	1.5	1.7	1.6	1.1	1.1
United Kingdom	6.4	5.8	5.5	5.2	5.2
Other EU	6.2	6.9	6.6	6.5	6.5
Others	1.3	1.7	1.6	1.7	1.7
<b>CIS</b>	<b>30.0</b>	<b>33.2</b>	<b>29.5</b>	<b>35.6</b>	<b>34.8</b>
Belarus	2.2	2.0	1.9	2.7	1.8
Kazakhstan	2.1	1.5	1.5	2.1	2.1
Russia	18.0	17.2	15.8	18.1	18.1
Ukraine	6.8	11.1	9.0	11.3	11.3
Other CIS	0.9	1.4	1.4	1.4	1.4
<b>N &amp; C AMERICA</b>	<b>19.5</b>	<b>20.2</b>	<b>17.8</b>	<b>14.8</b>	<b>14.8</b>
Canada	12.3	13.2	12.5	10.0	10.0
USA	6.1	6.1	4.6	3.9	3.9
Others	1.1	0.9	0.8	0.9	0.9
<b>SOUTH AMERICA</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>	<b>1.9</b>	<b>2.0</b>	<b>2.0</b>
Argentina	1.0	0.9	0.8	0.8	0.8
Others	1.0	1.2	1.2	1.2	1.2
<b>NEAR EAST ASIA</b>	<b>12.2</b>	<b>12.6</b>	<b>12.5</b>	<b>12.3</b>	<b>12.3</b>
Iran	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9
Iraq	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
Syria	1.1	0.9	0.7	0.8	0.8
Turkey	6.9	7.4	7.6	7.2	7.2
Others	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
<b>FAR EAST ASIA</b>	<b>5.3</b>	<b>5.8</b>	<b>5.6</b>	<b>6.1</b>	<b>6.1</b>
Pacific Asia	3.3	3.7	4.0	4.0	4.0
China	2.7	3.2	3.4	3.5	3.5
Others	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5
South Asia	2.0	2.0	1.6	2.1	2.1
India	1.4	1.5	1.1	1.4	1.4
Others	0.6	0.5	0.5	0.7	0.7
<b>AFRICA</b>	<b>6.5</b>	<b>6.5</b>	<b>5.0</b>	<b>6.9</b>	<b>6.9</b>
North Africa	5.0	4.9	2.9	4.8	4.8
Algeria	1.2	1.2	1.0	1.5	1.5
Morocco	2.6	2.8	1.1	2.5	2.5
Sub-Sahara	1.5	1.7	2.1	2.1	2.1
Ethiopia	1.2	1.4	1.8	1.8	1.8
Others	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
<b>OCEANIA</b>	<b>10.8</b>	<b>8.1</b>	<b>10.3</b>	<b>4.1</b>	<b>4.1</b>
Australia	10.4	7.7	9.9	3.7	3.7
New Zealand	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>142.9</b>	<b>154.1</b>	<b>139.2</b>	<b>139.1</b>	<b>138.3</b>

a) 2003 & 2004 EU-25

**Tabella 1.11** - Quadro generale indicante la produzione di orzo nel mondo

Il prodotto totale su scala mondiale si aggira sui 138 Mt, ciò mette in risalto il fatto che l'Europa rappresenti circa un mezzo dell'intero prodotto sul mercato.

Maggiori coltivatori del cereale sono Germania e Francia con valori che oscillano a seconda dell'annata, tra i 10 e gli 11 Mt abbondanti di produzione.

#### **1.4.4 Avena**

##### ***Cenni storici***

Il primo cereale entrato nell'alimentazione umana fu con ogni probabilità il miglio. Ancora oggi popolazioni dell'Asia centrale se ne cibano sotto forma di impasti tipo la polenta esattamente come il loro progenitori di migliaia di anni fa.

Ampie coltivazioni si avevano già 3000 anni prima di Cristo nella campagna cinese. Gli Arianzi quando invasero l'India trovarono l'avena poi imposero l'orzo, ritenuto più nobile dell'avena. Alcuni popoli però respingevano sdegnosamente l'avena perché considerata alimento per animali. A Roma Catone la fece addirittura estirpare dai campi come erbaccia. Con i tempi questo rifiuto dell'avena non cambiò. Nel medioevo nessun cavaliere inglese o francese si sarebbe nutrito con il cibo che dava al suo cavallo.

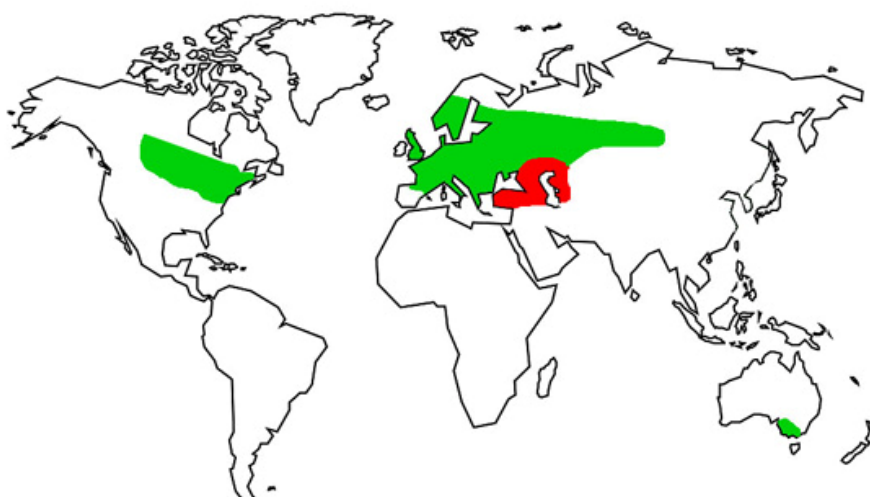
Fu in Europa l'unica eccezione, gli scozzesi e gli irlandesi ne erano fortemente ghiotti di avena. Samuel Johnson nel suo dizionario definì l'Avena come “cibo per gli uomini in Scozia, per i cavalli in Inghilterra”. Gli scozzesi per nulla offesi ribatterono che “l'Inghilterra era famosa per l'eccellenza dei suoi cavalli mentre la Scozia lo era per i suoi uomini”.

Si deduce che senza dubbio prima dell'avvento del frumento, fu l'orzo a prevalere nell'alimentazione dell'uomo, tanto da diventare simbolo di forza presso molti popoli, in particolare presso gli Israeliti. Si ha accenno nel Libro dei Giudici (VII,13).

##### ***Areali produttivi, mercato ed utilizzo***

L'avena, appartenente alla famiglia delle graminacee, è il più importante componente del gruppo dei così detti cereali minori, nel quale troviamo altre graminacee (segale, triticale e farro) e il grano saraceno (famiglia delle poligonacee).

In figura 1.23 si evidenziano in verde gli areali di coltivazione dell'avena nel mondo, mentre in rosso l'areale di origine della coltura che trova le sue “culla” nelle regioni della Turchia, dell'Anatolia, dell'Armenia e di parte del Kazakistan e Turkmenistan nelle aree più prossime al Mar Nero.



**Figura 1.23** - Tutti gli areali di coltivazione dell'avena

Secondo i dati riportati nella tabella 1.12 prodotta dall' IGC (International Grain Council) attestano una produzione mondiale negli ultimi 4 anni di circa 25 milioni di tonnellate (Mt) di avena, provenienti dalla coltivazione di circa 14 milioni di ha (Mha). Oltre il 60% della produzione mondiale proviene da Europa e da Nord e Centro America (area NAFTA).

COUNTRY	2003	2004	2005 (est.)	Million tons 2006 (f'cast.)	
				25.01.07	22.02.07
<b>EUROPE</b>	<b>9.5</b>	<b>9.8</b>	<b>8.7</b>	<b>8.8</b>	<b>8.8</b>
EU-27*	8.6 a)	8.7 a)	8.1	8.2	8.2
Finland	1.3	1.0	1.2	1.0	1.0
Germany	1.2	1.2	1.0	1.0	1.0
Poland	1.2	1.4	1.3	1.1	1.1
Sweden	1.1	0.9	0.8	0.8	0.8
<b>CIS</b>	<b>7.2</b>	<b>6.9</b>	<b>6.2</b>	<b>6.7</b>	<b>6.4</b>
Russia	5.2	4.9	4.6	4.9	4.9
Ukraine	0.9	1.0	0.8	0.9	0.7
<b>N &amp; C AMERICA</b>	<b>5.9</b>	<b>5.5</b>	<b>5.2</b>	<b>5.1</b>	<b>5.1</b>
Canada	3.7	3.7	3.4	3.6	3.6
USA	2.1	1.7	1.7	1.4	1.4
<b>SOUTH AMERICA</b>	<b>1.3</b>	<b>1.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.3</b>
Argentina	0.3	0.5	0.4	0.4	0.4
<b>NEAR EAST ASIA</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>	<b>0.3</b>
<b>FAR EAST ASIA</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.6</b>
China	0.6	0.6	0.7	0.7	0.6
<b>AFRICA</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>	<b>0.2</b>
<b>OCEANIA</b>	<b>2.1</b>	<b>1.4</b>	<b>1.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>
Australia	2.0	1.3	1.4	0.6	0.6
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>27.0</b>	<b>26.3</b>	<b>24.2</b>	<b>23.8</b>	<b>23.4</b>

**Tabella 1.12** - Produzione di avena nel mondo dal 2003 al 2006 con inoltre i dati di previsione 2007 (IGC – International Grains Council)

Nei paesi dell'Unione Europea le superfici investite ad avena attualmente si stimano in oltre 2 Mha, con una produzione di circa 9 Mt e una resa media di 3,3 t ha<sup>-1</sup>. La Germania, la Polonia e la Finlandia sono i massimi produttori con valori che si aggirano poco al di sopra di 1 Mt (tab. 1.12).

In Italia, si parla di appena 200.000 ha, con una resa media di 2,4 t ha<sup>-1</sup>, per una produzione complessiva di circa 346.000 t. Il Canada risulta essere il maggiore esportatore mondiale di avena (3,6 Mt nell'annata commerciale 2006). L'Italia è invece importatrice netta di tutti i cereali minori, soprattutto di avena.

Su scala mondiale la coltivazione dell'avena ha subito una generale forte contrazione nel corso degli anni '90: alla fine degli anni '80, infatti, la superficie coltivata era di circa 22 Mha, con una produzione di oltre 40 Mt.

Negli ultimi 4 anni si è registrato un notevole calo delle produzioni passando dai 27 Mt del 2003 ai 23,4 previsti per l'annata agraria in corso.

In Italia, l'avena (come del resto tutti i cereali minori) viene coltivata soprattutto in aree marginali del Centro-Sud caratterizzate da scarse potenzialità produttive: il 55% delle superfici sono localizzate nell'Italia meridionale, il 25% nelle Isole (Sardegna soprattutto), il 18% nelle regioni centrali e appena il 2% nel Nord Italia.

La scarsa diffusione delle coltivazioni di avena è quindi legata ai livelli di resa molto modesti raggiungibili in quelle condizioni ambientali, solo in parte compensati dalle quotazioni di questo cereale, che, in dipendenza della qualità, possono raggiungere livelli sensibilmente più alti di quelli del frumento o dell'orzo.

Le prospettive future sembrano indicare una ulteriore moderata espansione riguardo ai cereali minori, resa possibile da una serie di fattori concomitanti: accresciuto interesse dei consumatori verso alimenti "naturali" o biologici (dei quali alcuni cereali minori sono una componente importante) e indirizzi della politica europea volti a favorire la diversificazione colturale, il recupero delle aree marginali e la salvaguardia delle specie vegetali a rischio di estinzione.

In linea generale, le prospettive più favorevoli sembrano riguardare le specie destinate all'alimentazione umana.

L'andamento favorevole dovrebbe quindi coinvolgere anche l'avena, in relazione soprattutto alle richieste dell'industria agroalimentare, interessata alla produzione di derivati di qualità nutrizionale superiore, e a quelle dell'industria farmaceutica e cosmetica, per la produzione di cibi per lattanti, saponi e creme ipoallergenici. Secondariamente, una ulteriore richiesta dovrebbe nascere dalla prevedibile espansione dell'allevamento equino, spinto dalla crescente diffusione degli sport equestri.

L'avena sta quindi abbandonando il suo ruolo tradizionale di cereale zootecnico e sempre più sta diventando prodotto destinato al consumo umano diretto.

In relazione a ciò si assiste ad una diversificazione dei mercati per la granella di avena, con conseguente parallela differenziazione di prezzi e caratteristiche qualitative della granella. L'industria agroalimentare richiede, infatti, granelle con elevato peso ettolitrico e offre prezzi molto interessanti; per la zootecnia invece gli standard qualitativi sono meno severi e i prezzi sono allineati a quelli di orzo e frumento tenero.

### **Caratteristiche botaniche**

Il genere *Avena* comprende numerose specie diploidi, tetraploidi ed esaploidi. Tra queste troviamo sia specie selvatiche sia specie coltivate (tabella 1.13).

	Diploidi <i>2n=14; genoma AA</i>	Tetraploidi <i>2n=28; genoma AABB</i>	Esaploidi <i>2n=42; genoma AABBDD</i>
Specie selvatiche	<i>A. longiglumis</i>	<i>A. barbata</i>	<i>A. fatua</i> <i>A. sterilis</i>
Specie coltivate	<i>A. strigosa</i> <i>A. brevis</i> <i>A. nudibrevis</i>	<i>A. abyssinica</i>	<i>A. sativa</i> <i>A. byzantina</i> <i>A. nuda</i>

**Tabella 1.13** - Sistematica del genere avena. In grassetto le specie coltivate più diffuse

Tra le specie coltivate l'*Avena sativa* (o avena comune) è la più diffusa: circa il 90% della superficie mondiale coltivata ad avena impiega varietà di questa specie.

Il restante è costituito da *Avena byzantina* (o avena rossa), mentre insignificante è la diffusione di *Avena nuda*. Alcune specie selvatiche (*A. fatua* e *A. sterilis*) sono temibili infestanti dei cereali vernini.

- **Morfologia**

L'apparato radicale risulta essere tipicamente fascicolato, costituito, come in tutte le graminacee, da radici embrionali primarie e da radici avventizie. L'apparato radicale dell'avena ha sviluppo notevole, largamente superiore a quello degli altri cereali microtermi, sia come profondità che come espansione complessiva; può spingersi oltre 1,5 m di profondità.

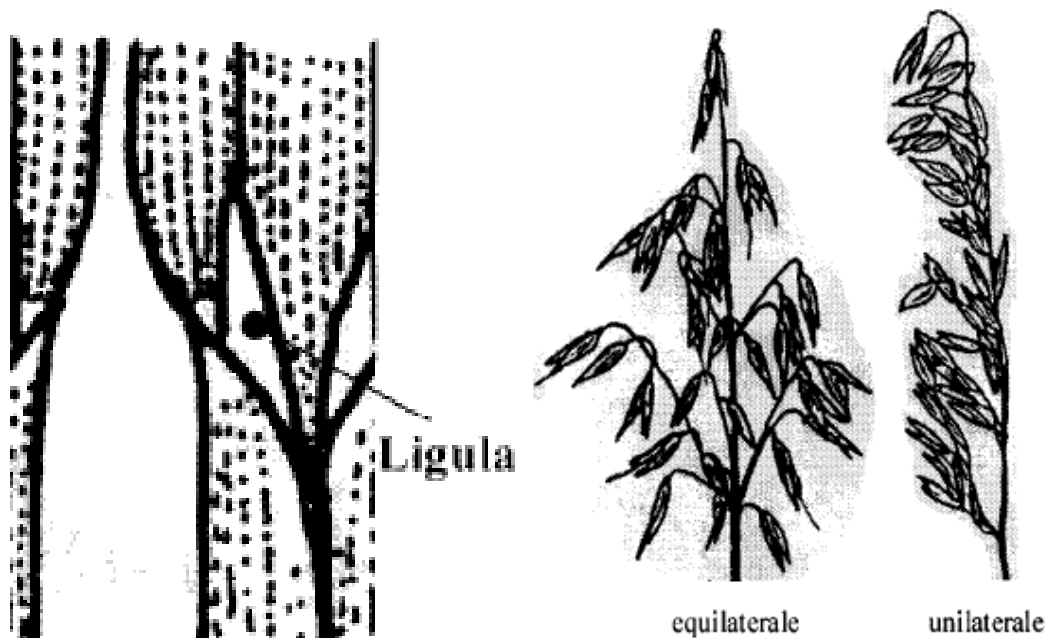
Il fusto è un culmo a portamento eretto, con un numero di nodi generalmente superiore a quello degli altri cereali microtermi.

L'altezza della pianta risulta ampiamente variabile in relazione alla varietà e alle condizioni di coltivazione, risultando come larga media compresa tra 0,7 m nelle varietà più basse in semina primaverile e oltre 1,1 m nelle varietà più alte in semina autunnale.



Le foglie sono comuni a quelle di tutte le graminacee, parallelinervie, con lamina larga e inguainanti il culmo.

La ligula è molto sviluppata, mentre mancano le auricole (figura 1.24 a). Le infiorescenze sono costituite da pannicoli terminali, sia a simmetria unilaterale che equilaterale (figura 1.24 b).



**Figura 1.24 a)** Particolare della guaina dell'avena

**Figura 1.24 b)** Pannicoli di avena

La forma è generalmente piramidale, soprattutto nei tipi equilaterali. A seconda della lunghezza delle ramificazioni, il panicolo può essere più o meno compatto, rimanendo comunque sempre piuttosto spargolo.

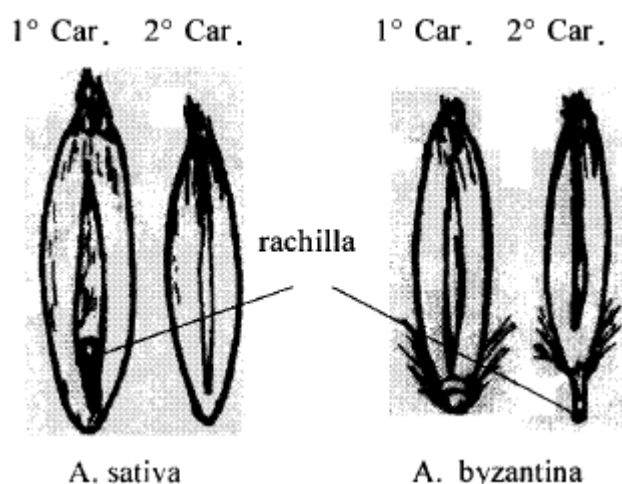
Le ramificazioni portano spighe con due (raramente 3) fiori. La spigetta può essere aristata con caratteristica resta ginocchiata inserita sul dorso della lemma.

I fiori sono tipici delle graminacee, con ovario monocarpellare supero, stigma bifido e 3 stami con antere bilobate. La fioritura è scalare con progressione acropeta e si protrae per 6-7 giorni nell'ambito di un'infiorescenza. Alla fioritura segue l'apertura delle glumelle.

La fecondazione è prevalentemente autogama, ma è possibile, seppur rara, la fecondazione incrociata. Le cariossidi sono 'vestite', con glume strettamente aderenti al frutto, meno che in alcuni tipi a cariosside 'nuda'.

L'avena comune e l'avena rossa sono distinguibili tra loro dal modo con cui si disarticolano le due cariossidi di ogni spigetta: nella sottospecie comune la cariosside distale (superiore) si distacca di preferenza alla sommità della rachilla che resta attaccata alla cariosside prossimale (inferiore).

Il contrario si verifica nell'avena rossa, nella quale la rachilla rimane attaccata alla cariosside distale (figura 1.25).



**Figura 1.25** - Modalità di disarticolazione delle cariossidi in *A. sativa* e *A. Byzantina*.

Il peso *standard* di 1000 cariossidi si aggira sui 25-35 g, il peso ettolitrico oscilla tra i 40 e i 60 kg hl-1. Le cariossidi vestite di avena presentano, come larga media, la composizione riportata in tabella 1.14.

	% su granella secca
Proteine	9,0
Lipidi	4,5
Carboidrati	65,0
Ceneri	4,0

**Tabella 1.14** - Composizione nutrizionale media della granella vestita di avena

La cariosside di avena è inoltre fonte di un'ottima fibra alimentare, che in alcuni genotipi può raggiungere i 200-350 g kg-1 di seme vestito. Proprio in ragione dell'elevato contenuto in fibra, in zootecnia il valore nutritivo dell'avena è ritenuto piuttosto basso, in media circa 0,7 Unità Foraggiere per kg di granella vestita.

Nel caso di destinazione alimentare o farmaceutica della granella, è richiesta la decorticazione della cariosside. La resa alla decorticazione, ovvero la quantità di seme decorticato che si ottiene da un campione di "seme" vestito, rappresenta, insieme al peso ettolitrico, uno dei più importanti parametri di valutazione della qualità. Essa varia sensibilmente in base al genotipo e alle condizioni di coltivazione; come larga media si aggira intorno al 70-80% del peso totale del seme vestito, ma può raggiungere valori di gran lunga inferiori nel caso di eccessi termici e stress idrico durante la granigione ("stretta").

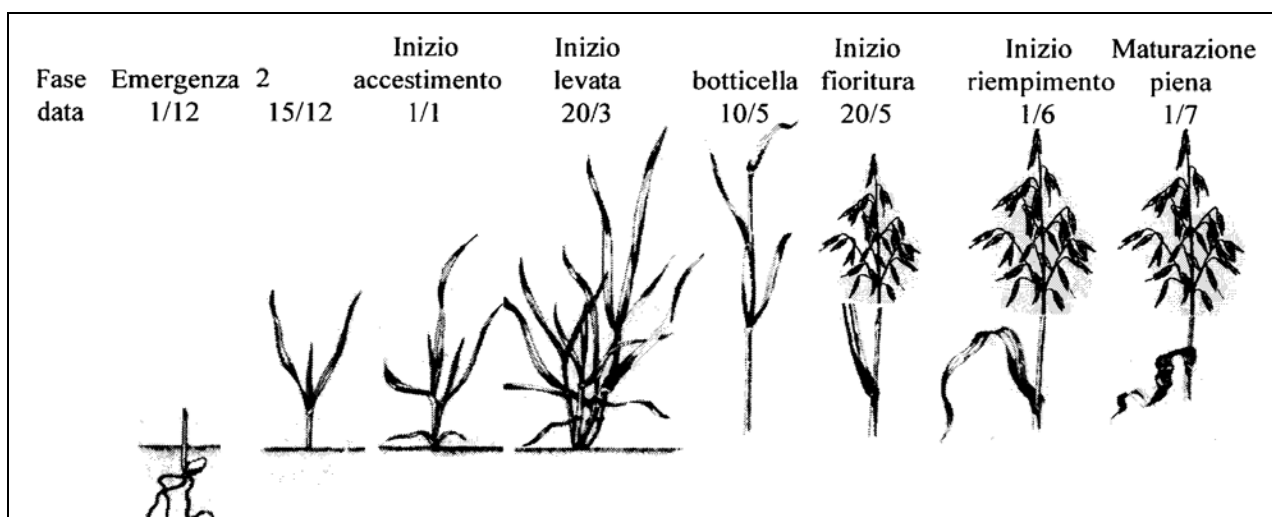
I semi decorticati (detti *groats*) hanno, tra tutti i cereali, il più alto tenore proteico (dal 14 al 22%) e di lisina (4%). La frazione lipidica può variare tra il 4 e l'11% ed è ricca in acido oleico e acido

linoleico, ritenuti molto importanti nel controllo del tasso di colesterolo nel sangue. Da un punto di vista nutrizionale e salustico i *groats* di avena sono apprezzati anche in quanto ricchi in  $\beta$ -glucani (3-6% della s.s., a seconda della varietà) e tocoferoli (20-30 mg kg<sup>-1</sup>).

### Ciclo biologico

Il ciclo biologico dell'avena è molto simile a quello del frumento. A parità di condizioni esterne, l'avena risulta più tardiva (in media di circa 10 giorni) riguardo alla fioritura e alla maturazione. Come nel frumento, si conoscono tipi primaverili e tipi invernali.

Le epoche di raggiungimento delle diverse fasi di sviluppo sono naturalmente molto variabili in relazione all'epoca di semina, all'ambiente e alla precocità della varietà. Per semine all'inizio di novembre in Italia centrale con varietà precoci, indicativamente l'emergenza si ha alla fine di novembre, l'inizio della levata intorno alla seconda decade di marzo, la fioritura verso la fine di maggio e la maturazione ai primi di luglio (figura 1.26).



**Figura 1.26** - Ciclo biologico dell'avena. Le date sono indicative per una coltura autunnale seminata agli inizi di novembre in Italia centrale.

- Esigenze ambientali: clima

Le esigenze climatiche dell'avena sono pressoché analoghe a quelle del frumento tenero. Le temperature cardinali minime sono di 4 °C per la germinazione, di 6 °C per l'accestimento, di 16 °C per la fioritura e di 18 °C per la maturazione.

L'avena è poco resistente al freddo: temperature minime di poco inferiori a -15 °C sono molto dannose per le varietà invernali.

Le varietà primaverili sono ancora più sensibili al freddo, tanto che già a temperature di -10 °C subiscono danni molto gravi.

In generale le varietà coltivate in Italia sono particolarmente penalizzate da inverni rigidi, tanto che

in Italia settentrionale spesso risulta obbligatoria la semina primaverile. Il miglioramento genetico ha comunque evidenziato l'esistenza di varietà di avena meno suscettibili al freddo che possono consentire di estendere la semina autunnale anche in ambienti ad inverno rigido.

Vista la sua tardività, l'avena risulta raramente danneggiata dal freddo durante la fase critica della fioritura.

- Avversità climatiche

L'avena è soggetta ad avversità naturali di diverso tipo che non necessariamente si presentano tutti gli anni e, quando si manifestano, non sempre mostrano la stessa intensità. Questo perché gli agenti sono fortemente condizionati dall'ambiente e dallo stadio della coltura al momento dell'evento. Tra le avversità climatiche che più influenzano la coltura dell'avena sono: il gelo invernale, l'allettamento, la siccità primaverile e la stretta da caldo durante la maturazione dei semi.

Il gelo è particolarmente dannoso e può distruggere completamente la coltura, impedendo negli ambienti più freddi le semine autunnali.

I danni da freddo sono particolarmente forti se le gelate si verificano improvvisamente: in una stessa varietà, temperature di  $-9^{\circ}\text{C}$  possono provocare danni trascurabili oppure la morte di tutte le piante a seconda che si verifichino dopo un periodo di 'indurimento' (circa 2 settimane con temperature di poco superiori agli  $0^{\circ}\text{C}$ ) o immediatamente dopo un periodo di temperature miti ( $20^{\circ}\text{C}$ ).

Negli ultimi anni il miglioramento genetico ha messo a disposizione varietà più tolleranti alle basse temperature, tanto da rendere meno aleatoria la semina autunnale anche in pianura padana.

L'avena è una delle specie più sensibili all'allettamento, evento particolarmente grave in considerazione anche della struttura dell'infiorescenza della pianta che rende piuttosto difficile la raccolta della granella in appezzamenti allettati.

La suscettibilità all'allettamento dell'avena è molto alta nelle varietà tradizionali, in relazione alla notevole taglia delle piante.

Negli anni, il lavoro di miglioramento genetico ha consentito lo sviluppo di varietà migliorate caratterizzate da una taglia della pianta inferiore a 0,9 m, contro gli oltre 1,1 m delle varietà non migliorate.

Tuttavia, in ambienti freschi e su terreni fertili, l'allettamento colpisce gravemente anche queste varietà migliorate. In ragione degli elevati consumi idrici unitari, l'avena è particolarmente svantaggiata dalla siccità primaverile che riduce fortemente la produzione di biomassa e la superficie fogliare.

La stretta da caldo è avversità abbastanza frequente, vista la tardività di maturazione della specie. Essa provoca un calo sensibile delle produzioni ed ha effetti negativi molto importanti sulla qualità della granella, in quanto riduce il peso di 1000 semi, il peso ettolitrico e la resa alla decorticazione. L'entità dei danni è fortemente legata alle condizioni di coltivazione e alle caratteristiche delle varietà: i rischi maggiori si hanno con l'impiego di varietà tardive e con la semina primaverile (Manuali/MCPP\_Avena).

### **1.4.5 Mais**

#### ***Introduzione generale sul Mais***

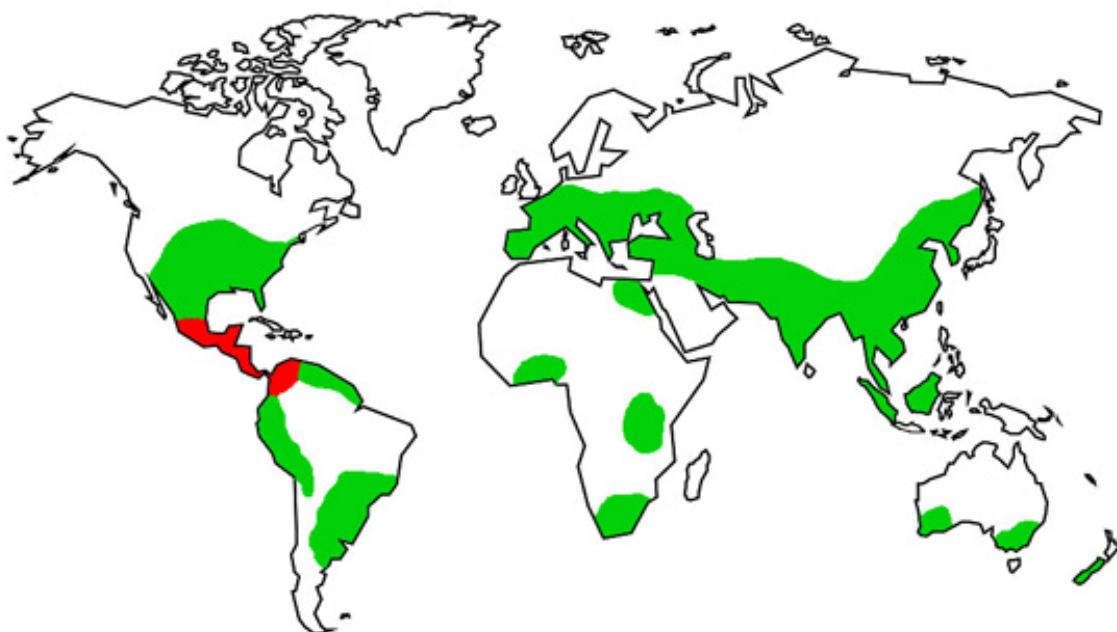
Il mais (*Zea Mays*), originario dell'America centrale, è noto in Italia anche con i nomi di granoturco, granturco, granone, frumentone, formentone, grano siciliano, melica, ecc.. In Europa fu introdotto nel 1492, subito dopo la scoperta dell'America, ma il suo vero successo avvenne nel XVIII secolo quando si diffuse con decisione nell'alimentazione umana diventando, per circa due secoli, l'alimento principale della popolazione rurale e meno abbiente .

In Italia, più precisamente nelle Marche, era coltivato ovunque con la tecnica dei “*tre campi*”, uno a mais e due a frumento, con gli spazi marginali occupati dai filari di vite maritata ad alberi vivi.

Questa formula corrispondeva esattamente alle esigenze della piccola proprietà dell'epoca, permettendo di ottenere il prodotto con cui pagare i tributi o da dare al proprietario del terreno nel caso della mezzadria (in grano) e quanto serve per una, seppur minima, alimentazione dell'intera famiglia sotto forma di pane o polenta. Attualmente la coltivazione del mais si è particolarmente evoluta, soprattutto attraverso un'incessante attività di miglioramento genetico che ha innescato quel fenomeno chiamato “*rivoluzione verde*”, e che ha portato alla progressiva sostituzione delle vecchie varietà vitree, usate prevalentemente per l'alimentazione umana, con i nuovi ibridi di mais dentato coltivati per uso zootecnico e industriale. Ciò ha permesso un notevole aumento della produzione ad ettaro ma ha anche causato la quasi totale scomparsa del mais dalle aree marginali non irrigue, dove sono ottenibili rese modeste e incostanti, localizzando la produzione nelle zone più vocate e fertili (cermis/divulgazione).

Nel panorama mondiale attuale il mais è il terzo cereale dopo frumento e riso per diffusione, se si considerano le superfici coltivate, ma occupa il primo posto per quantità prodotte. I maggiori produttori mondiali sono gli Stati Uniti seguiti dalla Cina e dall'Europa; Francia e Italia sono i primi produttori europei e, insieme, concentrano quasi i 2/3 delle superfici e delle produzioni comunitarie.

Per quanto riguarda gli impieghi nell'Unione Europea, l'80% del mais è destinato ad alimentazione zootecnica, sia come trinciato che come componente del mangime, il 10% alla trasformazione industriale e solo l'8% per il consumo umano. In Italia la trasformazione industriale (principalmente produzione di amido) è quasi inesistente ed il consumo umano ridotto per cui la percentuale impiegata per l'alimentazione del bestiame sale al 93%.



**Figura 1.27** - Diffusione della coltivazione del mais nel mondo (in verde) e area d'origine (in rosso)

### ***Origini e cenni storici della coltura***

La patria di origine del mais è stata per un lungo periodo controversa, ma poi si è definitivamente accertato che proviene dall'America Centrale, e più in particolare dalla regione compresa tra il Messico e l'Honduras (fig. 1.27). Parte della confusione è da attribuire al fatto che Linneo, nella sua classificazione, le diede la denominazione botanica latina di "*Zea mays*" malgrado questa fosse già presente nei testi classici latini e greci. Infatti, nel IV libro dell'Odissea, Omero accenna due volte ad un cereale chiamato "*zea*", nome che si ritrova anche presso i latini per indicare un grano "*primus antiquis Latio cibus*".

Linneo probabilmente sapeva che Omero e Plinio con il loro "*Zea*" intendevano qualche cosa di diverso dal mais (il farro), ma con molta probabilità lo volle classificare allo stesso modo in quanto anche questa pianta poteva essere definita "*pianta della vita*" (in greco "*zao*" significa vivere e "*mayze*" pane). Un'altra causa è da attribuirsi ad una delle denominazioni più diffusa per questa pianta: grano-turco. Ma anche questo equivoco è facilmente spiegabile: nel Cinquecento, epoca in cui il mais si diffondeva in Europa, in molti paesi l'indicazione di "*turco*" aveva il significato

generico di “*forestiero*” o “straniero”, e non era diffusa la distinzione tra Indie Occidentali (America) e Indie Orientali (Asia dominata in gran parte dai Turchi).

In America Centrale la coltivazione del mais era sicuramente praticata da diversi millenni prima dell’arrivo di Cristoforo Colombo. E’ stato, infatti, dimostrato che questa pianta, grazie alla semplicità di conservazione e trasporto dei suoi semi, rappresentò uno degli elementi strategici dell’espansione demografica e culturale di Aztechi, Maya e Incas. Tutte queste popolazioni precolombiane, infatti, si nutrivano prevalentemente di mais e lo veneravano come un dio. Ancora oggi, a Oaxaca in Messico, si svolge una delle principali feste della cultura preispanica in onore di *Centlocihuatl*, divinità del mais, e di *Xilonen*, dea del mais tenero chiamato anche *jilote*.

Sull’origine di questa pianta considerata sacra sono state elaborate, dai popoli che lo veneravano come l’espressione del Sole, del Mondo e dell’Uomo, tante teorie e leggende. A esempio la tradizione Maya racconta che la creazione dell’uomo fu realizzata in tre tentativi: il primo uomo, creato con l’argilla, fu distrutto da una inondazione, il secondo perì sotto una grande pioggia poiché era fatto di legno, mentre il terzo, fatto di mais, era il loro progenitore.

La diffusione del mais in Europa non avvenne automaticamente, infatti i semi che vennero importati non ebbero subito una grandissima fortuna. Trent’anni dopo la scoperta dell’America troviamo il mais coltivato solo in Andalusia dai *Moriscos* (gli ultimi arabi rimasti dopo la loro sconfitta) e solo per l’allevamento del bestiame. Gli spagnoli portarono il mais in Sicilia, a Palermo, ma anche qui non fu molto apprezzato e venne impiegato come pianta ornamentale. Solo dalla metà del XVI secolo, grazie all’arrivo di varietà provenienti da zone andine e dagli altopiani messicani più adatte alle nostre condizioni climatiche e meno sensibili al fotoperiodo, arrivò ad essere coltivato in pieno campo. Nello stesso periodo il mais divenne l’alimento principale delle classi rurali e povere sostituendo altri cereali meno produttivi (sorgo, miglio, grano saraceno).

Effettivamente la coltura del mais si espanse a tutta l’Italia ed anche in Europa per gran parte del secolo XIX; successivamente essa conobbe un forte declino causato dalle profonde trasformazioni sociali ed economiche, e del relativo regime alimentare. Dopo la seconda guerra mondiale, più precisamente intorno agli anni ’50, ha inizio una nuova era per questa coltura grazie al rapido affermarsi delle nuove varietà ibride provenienti dagli Stati Uniti. Con esse e con i progressi ottenuti nel campo dell’agronomia, meccanizzazione, fertilizzazione e difesa fitosanitaria, il mais è divenuto un simbolo di progresso e prosperità. Contemporaneamente è però cambiato il suo ruolo: da cibo basilare per l’uomo ad alimento per i suoi animali. Infatti, migliorando il tenore di vita, nei paesi industrializzati l’alimentazione si è indirizzata verso alimenti proteici di origine animale (carne, uova, latte), il consumo diretto di proteine vegetali (pane, pasta) è rimasto pressoché costante mentre è diminuito l’uso di polenta e pane di mais.

### *Utilizzazione del mais*

Il grande successo che il mais ha registrato in Italia nei secoli XVIII e XIX era strettamente legato alla possibilità di integrare, e molto spesso sostituire, il frumento nell'alimentazione della popolazione più povera, sia sotto forma di polenta che come sfarinato per la produzione di pane. Nel XIX secolo, la proporzione fra farina di frumento e farina di mais all'interno della dieta poteva essere presa come un indice di benessere: se le famiglie agiate mangiavano esclusivamente pane bianco, scendendo nella scala sociale, era possibile osservare un aumento della proporzione di farina di mais. Nei ceti sociali più bassi, si arrivava ad aggiungere alla già povera farina di mais sfarinati diversi, come quello di fave, di ceci, e addirittura di ghiande.

Questa pianta diede la possibilità a gran parte della popolazione di uscire dalla stretta dipendenza dai cereali tradizionali, non solo dal grano che in molti casi era una sorta di miraggio, quanto da orzo, miglio, grano saraceno, segale e panico che troneggiavano nelle mense rurali, sia sotto forma di pani che di polente. Il mais riuscì a sconfiggere la piaga della fame e delle carestie, ma nello stesso tempo mise in luce problemi relativi alle difese sanitarie dell'organismo. Infatti, non essendo un alimento ad alto contenuto proteico e carente in vitamina PP e triptofano (un importante aminoacido), l'uso quotidiano conduceva alla patologia della pellagra, caratterizzata da lesioni cutanee e da disturbi mentali e dell'apparato digerente. L'elemento scatenante di questa malattia in Italia, a differenza di molte altre nazioni europee, è stato il fatto che il mais veniva consumato sotto forma di polenta, senza sale e senza altri condimenti che potessero rialzarne il valore nutritivo dal punto di vista proteico e vitaminico. Inoltre, il processo di bollitura necessario per la trasformazione della farina di granoturco in polenta, liberava e disperdeva anche quella minima quantità di vitamina PP in essa contenuta. Risulta inoltre importante precisare che il mais non è l'esclusivo elemento scatenante della pellagra, e la motivazione della sua ampia diffusione può essere tranquillamente ricondotta ad uno stato degenerato dell'alimentazione dell'epoca, basato per lunghi periodi dell'anno, su un numero troppo ristretto di prodotti dotati di un bassissimo valore nutritivo. Bisogna inoltre dire che gli stessi alimenti, reinseriti in una dieta più ricca e bilanciata, come quella che oggi siamo abituati ad avere, non causerebbero alcuna malattia anzi apporterebbero dei benefici.

Dopo la seconda guerra mondiale, si è assistito ad un aumento di benessere che, iniziato nelle città, si è portato velocemente anche nelle campagne. Lo sviluppo economico ed il benessere hanno spinto la popolazione ad abbandonare tutta quella serie di alimenti "poveri", in primis il mais da polenta, in favore di alimenti più "ricchi", come il frumento, fino ad allora ad appannaggio delle classi sociali medio-alte. Un altro grande mutamento avvenuto in quegli anni ha portato all'introduzione nella dieta di quantità maggiori di alimenti di origine animale (carne, latte, uova),



spostando la destinazione del mais dall'alimentazione umana a quella zootecnica. I grandi progressi effettuati dalla genetica hanno condotto all'introduzione e successiva ampia diffusione di nuove varietà ibride di mais, più produttive e meglio adattate all'alimentazione animale. Questo fattore biologico, unito alle innumerevoli innovazioni agronomiche e tecnologiche, ha portato alla semplificazione e meccanizzazione di numerose operazioni colturali, rendendo possibile una straordinaria crescita delle produzioni maidicole, ma anche a dare la definitiva "spallata" alle vecchie varietà di mais che, oltre ad essere poco produttive, erano più suscettibili alle fitopatie, poco meccanizzabili e quindi richiedevano livelli troppo elevati di manodopera. Queste sono alcune delle motivazioni che hanno spinto l'agricoltore italiano all'abbandono delle varietà tradizionali di mais da polenta. Oggi, il rinnovato interesse verso la riscoperta della tipicità e della qualità delle produzioni alimentari, hanno stimolato l'attenzione per le varietà tradizionali di mais, dando impulso ad una loro possibile reintroduzione, come coltivazioni di nicchia o biologiche, e realizzare produzioni agricole capaci di offrire un segno di distinzione alimentare e un simbolo della nostra storia e delle nostre origini.

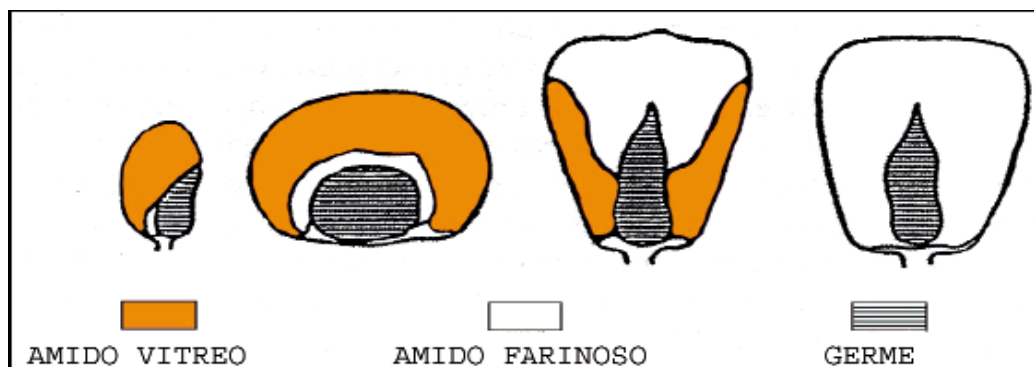
### ***Descrizione botanica***

Il mais (*Zea Mays* L.) è una pianta erbacea annuale, appartenente alla grande famiglia delle *Graminacee*, tribù delle *Maydeae*. Non esiste allo stato selvatico ma solo come pianta coltivata, non è stato ancora stabilito con certezza quale sia stata la sua evoluzione genetica mentre è sicuro che i suoi parenti più stretti sono il Teosinte (*Euchlaena mexicana*) ed il genere *Tripsacom*.

La specie è dotata di estrema variabilità per tanti caratteri morfo-fisiologici, perciò sono state elaborate diverse classificazioni basate principalmente sulle caratteristiche delle cariossidi e sulla durata del ciclo vegetativo. I caratteri delle cariossidi permettono di distinguere più sottospecie o varietà botaniche tra cui le più conosciute e coltivate sono:

- **MAIS DENTATO** (*Zea mays* spp. *indentata*): è il più produttivo e diffuso per l'alimentazione zootecnica. Si distingue facilmente perché alla maturazione la cariosside presenta un amido prevalentemente farinoso, e assume una caratteristica in dentatura come la forma di un dente di cavallo.
- **MAIS VITREO** (*Zea mays* spp. *indurata*): è il più utilizzato per l'alimentazione umana ed avicola. Le cariossidi sono tondeggianti, con endosperma vitreo o semi-vitreo. Quasi tutte le vecchie varietà italiane appartengono a questa specie perché è stata la prima ad essere introdotta in Europa. Attualmente sono poco diffuse perché hanno un potenziale produttivo inferiore a quello degli ibridi dentati, dovuto al minor numero di ranghi e per le minori dimensioni del seme. E' stato comunque dimostrato che la struttura compatta dell'endosperma dà una maggiore resa alla macinazione, e, fatto ben più importante, può favorire un miglior stato fitosanitario della cariosside.

- **MAIS DOLCE** (*Zea mays* spp. *saccharata*): è utilizzato per l'alimentazione umana a maturazione latteo-cerosa come mais da insalata, allo stato fresco o inscatolato. L'endosperma contiene poco amido e molti zuccheri.
- **MAIS DA SCOPPIO** (*Zea mays* spp. *everta*): è utilizzato per fare i popcorn. Le cariossidi possono avere la parte superiore (corona) a punta (mais riso) o a cupola (mais perla), sono molto piccole, vitree e con un elevato contenuto proteico.
- **MAIS CEROSO** (*Zea mays* spp. *ceratina*): ha un forte interesse industriale in quanto produce un amido costituito solo da amilopectina (mutazione waxy), particolarmente richiesto per la preparazione di cibi pronti, per l'ottenimento di adesivi e per determinate produzioni farmaceutiche, tessili e cartarie.



**Figura 1.28** – Differenti sezioni delle cariossidi di mais

Altro criterio di classificazione, basato sulla durata del ciclo vegetativo, li divide in 9 classi di maturità (da 100 a 900) secondo uno standard fissato nel 1954 dalla F.A.O.. Gli ibridi delle classi inferiori sono i più precoci, quelli delle superiori i più tardivi. Un'analoga classificazione era adottata anche prima del 1954 e suddivideva le varietà di mais in maggenghi (molto tardivi), agostani (medio-tardivi), agostanelli (medio), cinquantini (precoci) e quarantini (molto precoci).

#### *Radice*

L'apparato radicale è di tipo fascicolato e costituito da radici primarie e avventizie. Le radici primarie o seminali hanno origine dall'embrione e non assumono mai grandi dimensioni perché la loro funzione si esaurisce nei primi stadi di sviluppo. Le secondarie o avventizie spuntano dai primi nodi basali del culmo, sotto o anche sopra terra (radici aeree), costituiscono la massa principale dell'apparato radicale ed hanno funzioni sia nutrizionali che di ancoraggio. L'apparato radicale del mais può raggiungere facilmente un metro ed oltre di profondità ma prevalentemente, il suo sviluppo avviene nei primi quaranta centimetri di terreno.

#### *Fusto*

Il fusto, detto stocco, è un culmo robusto ed eretto formato da nodi pieni a sezione circolare o ellittica, più grossi degli internodi anch'essi pieni di midollo. Il tessuto midollare è costituito da un parenchima attraversato da numerosi fasci vascolari che funziona come riserva di acqua e sostanze

nutritive. Il numero di internodi presenti e la loro lunghezza sono legati a caratteri genetici che interagiscono con l'ambiente climatico e le condizioni colturali. L'altezza ordinaria dello stocco è di 2,5-3 metri e generalmente non accestisce.

### *Foglie*

Le foglie, una per nodo, sono disposte alternativamente sui lati dello stocco e composte da tre parti: la guaina, che avvolge il fusto per un lungo tratto, la ligula molto sviluppata e la lamina che ha forma allungata ed acuminata, con nervature sottili e parallele ad una grossa nervatura mediana. Lo sviluppo della lamina fogliare cambia a seconda della posizione lungo il fusto, infatti è massima nella posizione centrale e si riduce verso la base e verso l'apice. Di grande interesse è il portamento delle foglie, rispetto allo stocco, per favorire l'intercettazione dell'energia solare e trasformarla in energia chimica necessari ai processi fotosintetici. Gli ibridi moderni hanno un'architettura eretta, e quindi una maggiore efficienza fotosintetica, mentre le varietà tradizionali hanno portamenti delle foglie più patenti che limitano la penetrazione luminosa negli strati inferiori delle coltivazioni.

### *Infiorescenze*

Il mais è una pianta monoica e diclina con fiori maschili e femminili sulla stessa pianta, ma in posizioni diverse. L'infiorescenza maschile chiamata "pennacchio" è un pannicolo terminale costituito da numerose ramificazioni sulle quali si trovano le spighe da cui fuoriesce il polline. Ogni spigetta consta di due fiori con tre stami ciascuno. L'infiorescenza femminile, detta volgarmente pannocchia, è una spiga ascellare posta circa a metà altezza della pianta. Essa è costituita da un rachide ingrossato detto tutolo sul quale si inseriscono un numero variabile di file di spighe riunite in coppie (da 8 a 24) e con due fiori di cui uno solo fertile e provvisto di ovario uniloculare con stilo allungato e filiforme. Poiché ogni fila può portare fino a 50 fiori, ogni spiga ha una potenzialità di 700–1000 cariossidi. Questa potenzialità si riduce notevolmente in molte delle varietà tradizionali, che appartengono al tipo vitreo e sono caratterizzate da un numero ridotto di file o ranghi (8-16).



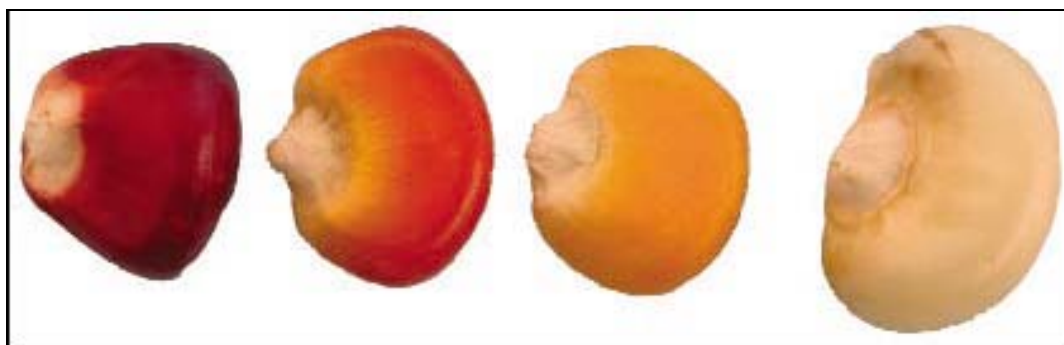
**Figura 1.29** – Emissione del pennacchio ed emissione della spiga nel mais

La forma e le dimensioni della spiga sono molto variabili, le forme più comuni sono la cilindrica e la conica. La spiga è portata da un peduncolo di lunghezza varia caratterizzato da nodi molto ravvicinati, e avvolta da un cartoccio costituito da 8-12 foglie modificate dette brattee. All'esterno di queste escono gli stili lunghissimi (barbe o sete) che permettono al granulo pollinico di arrivare fino all'ovulo. La fecondazione è prevalentemente incrociata o allogama (l'ovulo è fecondato da polline di un'altra pianta) e anemofila (il polline è trasportato dal vento).

### *Seme*

Il seme del mais è una cariosside (frutto secco indeiscente) disposta in file allineate o leggermente a spirale lungo tutto il tutolo nella quale possiamo distinguere: una corona (parte esterna opposta alla punta inserita sul tutolo dalla cui forma si possono distinguere i mais dentati da quelli vitrei), due facce (superiore e inferiore) e lo scudetto con l'embrione. Facendo invece una sezione della cariosside troviamo gli involucri esterni costituiti dal pericarpo e dal perispema, l'endosperma e l'embrione detto comunemente germe. L'embrione a sua volta presenta una piumetta custodita dal coleoptile, una radichetta protetta dalla coleoriza e lo scudetto o scutello ricco di grassi. L'endosperma è costituito da uno strato aleuronico esterno e da un parenchima amidaceo che a sua volta può essere formato da una parte cornea ricca di sostanze azotate e da una farinosa quasi esclusivamente formata di amido. L'amido del mais è generalmente costituito da un 20% di amilosio, costituito da catene lineari, e da un 80% di amilopectina, caratterizzata da catene ramificate. Forma, dimensioni e colore delle cariossidi possono variare molto (fig. 1.30):

- il peso dei 1000 semi va da meno di 100 grammi a oltre 1200;
- la forma può essere tondeggiante, schiacciata, infossata, appuntita ecc...;
- il colore è prevalentemente giallo ma esistono anche mais a granella bianca, rossa bruna e violetto.



**Figura 1.30** – Semi di mais

### *Caratteristiche nutrizionali*

La cariosside del mais è essenzialmente composta dall'endosperma (80%) e dall'embrione(10%), racchiusi in un involucro duro e fibroso chiamato pericarpo e costituito principalmente da cellulosa ed emicellulose. La cariosside del mais dà un buon apporto calorico, infatti, l'endosperma del seme

maturato è formato prevalentemente da amido (70-75%) ed in misura minore da proteine (8-10%). Nell'embrione è raggruppata la maggior parte dei lipidi racchiusi in corpi oleosi (4-5%).

L'amido di mais è formato da due tipi di strutture molecolari: l'amilosio, molecola lineare formata da 200 a 2.000 unità di D-glucosio, e l'amilopectina, molecola ramificata di dimensioni estremamente maggiori, che può arrivare fino a 200.000 molecole di D-glucosio. La differente morfologia e quindi il diverso comportamento della molecola nei confronti dei liquidi, è alla base della maggiore digeribilità che l'amilopectina ha nei confronti dell'amilosio e del diverso apprezzamento da parte delle industrie alimentari, farmaceutiche, cartarie e tessili. L'amilosio tende a formare legami d'idrogeno intermolecolari che, allontanando l'acqua, portano ad una progressiva insolubilizzazione di questo elemento a differenza dell'amilopectina che, grazie alle sue ramificazioni e alla sua forma irregolare, non va incontro a questo tipo di fenomeno. Le proteine della cariosside del mais sono distribuite per il 16% nell'embrione, per l'80% nell'endosperma e per il 4% nei tegumenti. Le proteine contenute nel mais sono di valore biologico inferiore rispetto a quelle degli altri cereali. La dotazione proteica presente nelle cariossidi del mais, ricca di glutamina, prolina, leucina e alanina, risulta assolutamente insoddisfacente per la dieta umana e dei monogastrici in genere in quanto carente soprattutto degli amminoacidi essenziali lisina e triptofano. La maggior parte dei lipidi presenti nel mais è concentrata nello scutello embrionale (85%) dove sono depositati in corpi oleosi. I lipidi sono dei trigliceridi costituiti da acidi grassi esterificati con glicerina. Il contenuto lipidico medio si aggira intorno al 4-6% e gli acidi grassi sono rappresentati in ordine di importanza dal linoleico, oleico, palmitico, stearico e linolenico. Un'alimentazione basata esclusivamente sul mais è carente di niacina o Vitamina PP perché una porzione che va dal 50 all'80% di questa vitamina non può essere assorbita dal corpo umano. Nel mais giallo è abbondante il contenuto di vitamina A che invece è assente in quello bianco. Furono anche queste carenze in vitamine e amminoacidi essenziali delle concause che provocarono, all'inizio del secolo scorso nella popolazione italiana, il diffondersi della "pellagra". Di questa malattia non soffrirono i popoli meso-americani che, facendo bollire il mais in soluzioni alcaline prima di utilizzarlo, rimuovevano parte della buccia dei chicchi, riducendo la mancanza di lisina e di triptofano e aumentando l'assimilazione della niacina. Interessante risulta anche notare come queste carenze non siano aumentate con gli attuali programmi di miglioramento genetico che hanno selezionato ideotipi di mais con più favorevoli caratteri agronomici della pianta e maggiori resistenze alle fitopatie, più adatti a massimizzare le rese produttive ed elevare la qualità intrinseca della granella ma senza modificare in maniera significativa i contenuti di specifici microelementi ad alto valore nutrizionale. Per esempio si può osservare che, mentre gli odierni ibridi di mais sono carenti in vitamina B12, in alcune varietà tradizionali era presente in quantità equilibrata.

Anche il tenore in proteine, negli odierni ibridi oscilla dal 10,6 al 12,6% invece delle varietà tradizionali variano dall'11,8 al 14,3% .

### *Sviluppo fenologico*

Il mais è una pianta da rinnovo a ciclo primaverile-estivo sensibile al freddo, specialmente durante i primi stadi di sviluppo, e con elevate esigenze idriche. Le fasi fenologiche più rilevanti ai fini della coltivazione del cereale sono:

#### *Germinazione-emergenza*

Questa fase risulta influenzata fortemente dalla temperatura (la germinazione del seme avviene con temperature del terreno uguali o superiori a 12°C) e dalla disponibilità idrica. La germinazione e l'attecchimento della plantula sono le prime fasi critiche della vita del mais, per questo è importante che avvengano rapidamente perché più i tempi sono lunghi più ci sono i rischi di perdita dell'energia germinativa, di predazione parassitaria e di attacchi fungini.

#### *Sviluppo vegetativo*

Una volta attecchita la plantula, il mais cresce in funzione delle “unità calore” disponibili, sviluppa il sistema radicale, la struttura fogliare fino ad avere 20-23 foglie poco prima della fioritura, la formazione della spiga principale e del pennacchio, per raggiungere lo stadio di diffusione del polline e dell'emissione degli stili prima di iniziare la fase di riproduzione.

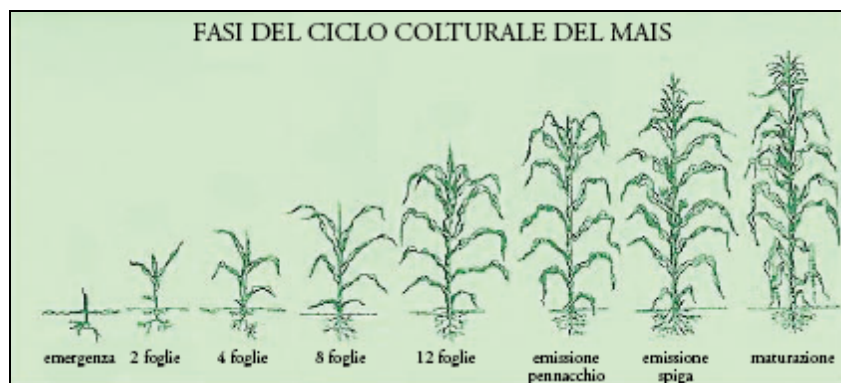
#### *Fioritura*

Il mais è una pianta proterandra, cioè i fiori maschili maturano, e quindi rilasciano il polline alcuni giorni prima di quelli femminili, ma in condizioni di stress idrico o termico questa differenza si può accentuare e causare la mancata fecondazione degli ultimi fiori femminili per cui la pannocchia che ne deriva si presenta non completamente granita.

#### *Maturazione*

Circa sessanta giorni dopo l'impollinazione la cariosside del mais ha di regola raggiunto il massimo peso secco, e può essere considerata fisiologicamente matura con la comparsa dello strato nero e un livello di umidità al di sotto del 35%. Questa fase avviene nella stagione autunnale con la pannocchia rivestita dalle brattee che in alcune varietà si “aprono” per favorire la perdita veloce d'acqua (fast dry down). La granella viene raccolta con un'umidità variabile dal 20% al 30% e necessita, per la conservazione, di un'essiccazione artificiale fino a ricondurre l'umidità al 14,0%. In linea generale un mais da polenta deve essere gestito agronomicamente al pari di un comune mais per uso zootecnico ad eccezione di alcuni aspetti specifici (durante e dopo la raccolta) che conferiscono caratteristiche di qualità al prodotto. La raccolta può essere effettuata meccanicamente o manuale in funzione del prodotto desiderato (granella o spiga). La raccolta meccanica va eseguita con adeguate mietitrebbiatrici o spannochiatrici che non danneggino la granella. La fase

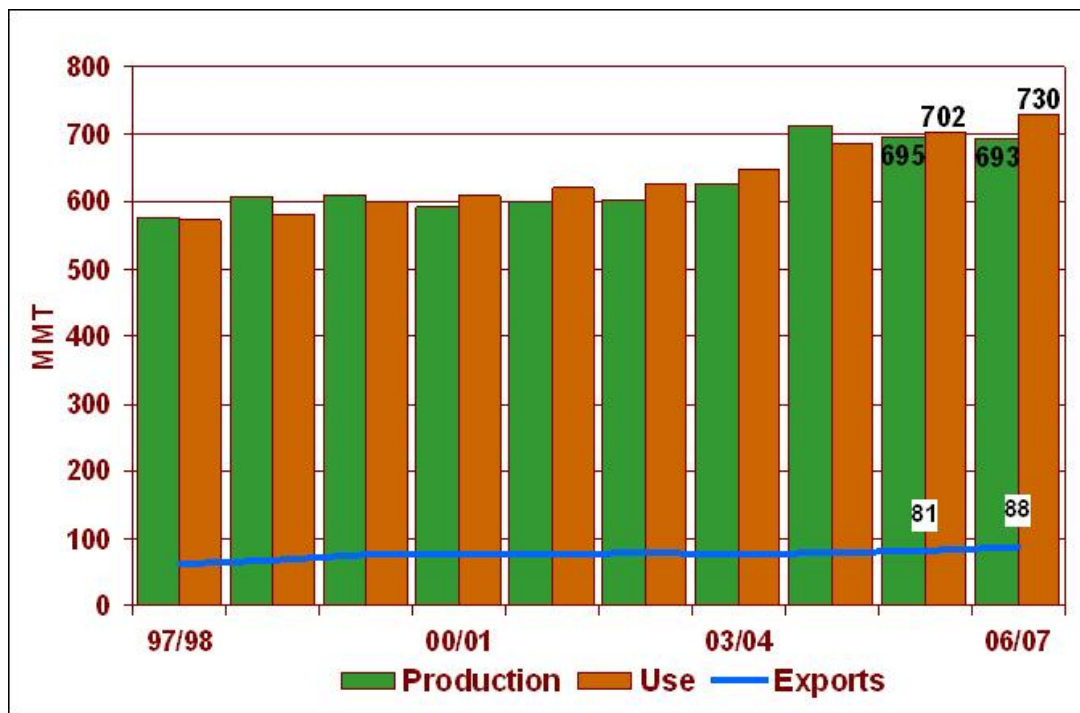
dell'essiccazione non deve lasciare sul seme odori sgradevoli e bisogna eseguirla a bassa temperatura per evitare la diffusione del contenuto di olio dal germe all'endosperma vitreo. Infine l'immagazzinamento della granella, in silos o sacchi, deve avvenire dopo un'adeguata operazione di pulitura da pezzi di granella, semi estranei e altre impurità, ed essere fatta in ambienti asciutti e ben aerati.



**Figura 1.31** – Ciclo colturale del mais dall'emergenza alla maturazione

### ***Mercato mondiale attuale del mais***

La produzione mondiale di questo cereale parla di quasi 700 Mt annue, una quantità che si presenta in netto rialzo negli ultimi 4 anni (fig. 1.26) in cui da una produzione media intorno ai 600 Mt negli anni 90, è letteralmente schizzata, nel 2004 a circa 712 Mt, un valore che dovrebbe essere avvicinata nell'annata agraria in atto.



**Figura 1.32** - Produzione di Mais nel mondo dal 1997 ad oggi (US wheat)

Nel grafico 1.32 si relazionano la quantità di grano prodotto, le scorte degli anni precedenti ed il suo



utilizzo per ogni singolo anno; un quadro molto chiaro e semplice che ci fa presupporre una richiesta di mais nel 2007 per un ammontare quanto mai elevato: 730 Mt. Da qui ne deriva la linea di tendenza al mercato del mais, all'esportazione dai paesi maggiormente forniti; tale andamento indica un sostanziale aumento degli *export* negli ultimi 10 anni.

COUNTRY	2003	2004	2005 (est.)	Million tons 2006 (f'cast.)	
				25.01.07	22.02.07
<b>EUROPE</b>	<b>55.0</b>	<b>80.0</b>	<b>73.3</b>	<b>65.3</b>	<b>65.3</b>
Croatia	1.6	2.2	2.8	2.0	2.0
<b>EU-27</b>	<b>40.3 a)</b>	<b>53.7 a)</b>	<b>62.1</b>	<b>55.2</b>	<b>55.2</b>
Austria	1.7	1.9	2.0	1.7	1.7
Bulgaria	(1.0)	(1.6)	1.6	1.5	1.5
France	12.0	16.4	13.5	12.3	12.3
Germany	3.4	4.1	4.1	3.1	3.1
Greece	2.1	2.2	2.3	2.2	2.2
Hungary	4.6	8.3	9.1	8.4	8.4
Italy	8.2	10.8	10.5	10.1	10.1
Romania	(7.0)	(14.5)	10.3	8.5	8.5
Slovakia	0.6	0.9	1.1	0.9	0.9
Spain	3.7	4.2	3.3	2.9	2.9
Other EU	4.1	5.0	4.3	3.6	3.6
Serbia & Montenegro	3.8	6.6	7.0	6.6	6.6
Others	1.3	1.4	1.4	1.5	1.5
<b>CIS</b>	<b>12.0</b>	<b>14.9</b>	<b>13.5</b>	<b>12.5</b>	<b>12.6</b> <
Ukraine	6.9	8.0	7.2	6.4	6.4
Other CIS	5.2	6.9	6.3	6.1	6.2
<b>N &amp; C AMERICA</b>	<b>291.0</b>	<b>334.1</b>	<b>314.5</b>	<b>302.2</b>	<b>302.2</b>
Canada	9.6	8.8	9.5	9.3	9.3
Mexico	21.8	22.0	19.5	22.0	22.0
USA	256.3	299.9	282.3	267.6	267.6
Others	3.3	3.3	3.3	3.4	3.4
<b>SOUTH AMERICA</b>	<b>64.2</b>	<b>63.4</b>	<b>64.7</b>	<b>71.4</b>	<b>74.7</b> <
Argentina	15.0	20.5	14.5	20.0	21.5
Brazil	42.0	35.0	41.7	43.5	45.5
Colombia	1.2	1.3	1.2	1.3	1.3
Paraguay	1.0	1.2	1.1	1.1	1.1
Venezuela	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4
Others	3.8	4.1	4.8	4.1	3.9
<b>NEAR EAST ASIA</b>	<b>4.5</b>	<b>4.0</b>	<b>4.9</b>	<b>4.4</b>	<b>4.2</b> <
Turkey	2.5	3.0	3.7	3.2	3.0
Others	2.0	1.0	1.2	1.2	1.2
<b>FAR EAST ASIA</b>	<b>154.8</b>	<b>170.8</b>	<b>181.3</b>	<b>184.7</b>	<b>185.1</b> <
Pacific Asia	136.3	152.5	162.6	166.6	166.7
China	115.8	130.3	139.4	143.0	143.0
Indonesia	6.3	6.5	6.9	6.6	6.6
Korea (N)	1.5	1.7	1.6	1.6	1.6
Philippines	4.8	5.1	5.5	6.1	6.3
Thailand	4.2	4.2	4.1	4.2	4.2
Others	3.7	4.7	5.0	5.1	5.1
South Asia	18.5	18.3	18.7	18.1	18.3
India	14.7	13.6	15.1	14.5	14.7
Others	3.7	4.7	3.6	3.6	3.6
<b>AFRICA</b>	<b>43.0</b>	<b>45.1</b>	<b>42.3</b>	<b>47.1</b>	<b>45.9</b> <
North Africa	6.7	7.0	6.1	7.2	7.2
Egypt	6.5	6.7	5.9	7.0	7.0
Others	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2
Sub-Sahara	36.4	38.1	36.3	39.9	38.7
Côte d'Ivoire	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6
Ethiopia	2.6	2.8	2.8	2.8	2.8
Kenya	2.6	2.1	2.7	2.8	2.8
Malawi	2.0	1.3	2.4	2.4	2.4
Nigeria	5.2	6.5	7.0	7.5	7.5
South Africa	9.7	11.7	6.9	10.0	9.0
Tanzania	2.3	2.8	2.6	2.6	2.6
Zambia	1.2	0.9	1.4	1.4	1.4
Zimbabwe	0.9	0.6	1.0	1.2	1.0
Others	9.3	9.0	8.9	8.6	8.6
<b>OCEANIA</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b> <
Australia	0.4	0.3	0.4	0.3	0.3
Others	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
<b>WORLD TOTAL</b>	<b>625.1</b>	<b>712.6</b>	<b>695.1</b>	<b>688.1</b>	<b>690.4</b> <

a) 2003 and 2004 EU-25

**Tabella 1.14** Quadro generale della produzione di mais nel mondo dal 2003 ad oggi (previsioni 2007)



In Europa (tab. 1.14) la produzione di mais è piuttosto bassa, infatti si prevedono per il 2007 un totale di circa 65 Mt dove l'Italia rappresenta il secondo produttore (10,1 Mt nel 2006) subito dopo la Francia (12,3 Mt nella stessa annata agraria).

L'America del Nord e quella Centrale rappresentano quasi la metà della produzione totale, per un ammontare nel 2006 di 302 Mt, di cui 267 Mt da parte dei soli Stati Uniti d'America.

## 2 Scopo della tesi

Questa tesi è il risultato di oltre 4 anni di attività sperimentale in campo. lo scopo finale di questo lavoro, è comprendere e verificare, mediante equazioni ed elaborazioni grafiche, la relazione esistente tra clima e sviluppo fenologico delle piante coltivate.

Innanzitutto i quattro anni di sperimentazione ci hanno aiutato non solo a comprendere ed affinare le tecniche di rilievo, di collezione e di elaborazione dati, ma anche ad individuarne i limiti.

Il lavoro forse più oscuro di questa tesi, che però ha avuto un ruolo fondamentale, è stato il saper individuare le fenofasi delle colture e che abbiamo considerato.

La stazione agrofenologica è nata nel 2003 a Cadriano (Bo), da una convezione tra il DiSTA e l'ARPA-SIM della Regione Emilia Romagna, con l'esigenza da parte dei due enti, di riuscire a monitorare costantemente lo sviluppo fenologico di 4 colture erbacee macroterme.

A queste negli anni successivi sono state aggiunte altre specie fino ad arrivare ad un numero di 13.

Tale arricchimento di specie è stato di notevole importanza perché ci ha permesso di distinguere tra le colture che più si adattavano ad una corretta e coerente interpretazione fenologica.

Alla luce dei risultati ottenuti *in itinere*, attraverso la pubblicazione settimanale dei bollettini fenologici, si è deciso di focalizzare questa tesi principalmente su 5 colture, le quali hanno dimostrato una buona “coerenza fenologica” negli anni.

Le colture prese in considerazione sono frumento duro, tenero, orzo, avena e mais. Queste saranno esaminate da un punto di vista fotografico e ogni principale fenofase sarà classificata secondo la scala internazionale BBCH. I dati fenologici registrati nei 4 anni verranno poi elaborati per cercare di trovare delle correlazioni tra l'osservazione in campo e la previsione modellistica.

I modelli utilizzati sono tre:

- il primo sono somme termiche lineari, già impiegato per descrivere periodicamente l'accumulo termico delle colture nei *report* settimanali;
- il secondo sono somme termiche mediante l'approssimazione del triangolo, per cercare di ottenere maggiore affidabilità nei risultati prodotti;
- il terzo, utilizza un modello fenologico “ARPAmoD” capace invece di seguire la coltura adottando dei parametri di simulazione differenti a seconda della fase fenologica.

Alla base di questi modelli c'è, come detto, la temperatura, forzante principale dello sviluppo biologico degli organismi.

I valori di temperatura dell'aria utilizzati sono giornalieri e si riferiscono agli anni di sperimentazione. Inoltre sono stati elaborati e presi in considerazione i valori medi di temperatura

degli ultimi 55 anni in serie storica, sulla base dei quali il modello “ARPAmoD” potrà provare a prevedere le fasi fenologiche delle colture esaminate.

Inoltre il modello e la serie storica possono essere utilizzate come riferimento negli studi di scenario, ovvero quelli che utilizzano scenari di temperature future allo scopo di interpretare l’impatto del cambiamento climatico sulle colture, proponendosi di esaminare il grado di potenzialità dimostrato e che dimostreranno le colture per effetto del *global warming* e della anomala distribuzione delle stagioni.

Lo scopo finale di questa tesi è quindi cercare di far correre su due strade parallele, l’esperienza in campo e quella modellistica, sforzandosi di individuare, attraverso la passione verso il mondo agricolo e la dedizione sperimentale, il modo più semplice e corretto per far andare lo sviluppo biologico vegetale e la simulazione modellistica con lo stesso passo.

## **3 Materiali e metodi**

### **3.1 La stazione agrofienologica di Cadriano**

All'interno della Azienda Agricola Sperimentale della Facoltà di Agraria di Bologna a Cadriano è stata predisposta nel mese di marzo 2003 una stazione agrofienologica dalle dimensioni di 1500 m<sup>2</sup>; la stazione è situata in un'area posta a lato della stazione agrometeorologica già presente nell'azienda.

L'area selezionata è compresa tra il 44°35 latitudine nord, 11°27 longitudine est, ed è a 33 metri s.l.m. La zona è rappresentativa delle condizioni di clima e suolo della pianura bolognese. L'appezzamento ha una sistemazione idraulica agraria tipica della zona (sistemazione alla ferrarese) cioè con appezzamenti stretti (30-50m) e lunghi (100-500m) con una lieve pendenza verso i lati lunghi dove sono situate le scoline di sgrondo. Queste sono profonde 0.8 m, di piccole dimensioni poste sui lati lunghi dell'appezzamento. Il terreno presenta una granulometria intermedia (sabbia 44%; limo 20%; argilla 36%, C.I.C. 0.25; P.A 0.14), con una falda piuttosto superficiale (nel 2003 ha oscillato tra il punto più superficiale 50 cm (in aprile), e quello più profondo, 238 cm in agosto).

Per ogni specie sono state seminate varie file e per avere minor effetto di bordo i campioni sono stati scelti solo sulle file centrali. Le semine sono state eseguite in un'epoca media per ogni coltura, seguendo in linea di massima le normali semine della zona.

Per ogni coltura primaverile la semina è stata fatta a mano a postarella, ponendo un solo seme (o tubero) per postazione. Per le graminacee autunnali la semina è stata effettuata a macchina con seminatrice sperimentale.

Le prove sono state condotte in condizioni idriche del terreno ottimali; qualora l'insufficienza di umidità del terreno fosse risultata di ostacolo alla germinazione del seme e/o all'emergenza della coltura, si è provveduto alla somministrazione di adeguati quantitativi idrici per favorire una rapida ed omogenea emergenza e successivo sviluppo delle pianta.

Il controllo delle infestanti è stato eseguito con semplici scerbature manuali da farsi non appena l'infestante è emersa, in modo da impedire eventuali competizioni ecofisiologiche o successivi danni causati dall'estirpo della malerba stessa. Le colture erbacee a dimora nella stazione, sono state scelte sulla base delle varietà più coltivate a pieno campo in Emilia Romagna (Ventura F. et al., 2006).

Sono state seminate in parcelle isolate tra loro e vengono sottoposte alle normali pratiche colturali seguendo i disciplinari di lotta integrata tipici della zona.

Nel corso del primo anno di prova, aprile 2003, sono state analizzate le seguenti colture: Mais: cv cecilia (classe 500 FAO), Patata: cv primura, Soia: cv sapporo (seme non trattato), Girasole: cv proleic.

Sulle diverse specie e cultivar seminate sono iniziati i rilievi fenologici con cadenze regolate secondo il protocollo operativo definito dal Progetto Finalizzato Phenagri (Botarelli et al., 1999; Marletto V., 1999; Zinoni & Puppi, 1999).

Dal secondo anno, il progetto si è presentato più articolato evidenziando un numero di colture maggiore in modo da prendere in considerazione il ciclo colturale di specie microterme e macroterme. Lo schema scientifico risultante del secondo anno di sperimentazione è stato perpetrato negli anni successivi in modo da mantenere sempre la stessa sequenza di rilievo.

A partire dalla semina dei cereali vernini nel 14 novembre 2003, si è sempre cercato di mantenere la stessa sequenza di colture, (solo nell'annata agraria 2006-2007 sono state invertite nell'ordine avena ed orzo) seguendo tutti gli accorgimenti agronomici, dalla densità di semina, al rispetto delle distanze tra e dentro le file secondo quanto riportato dal prospetto del Progetto Phenagri. Le varietà utilizzate per i cereali vernini sono: Duilio per il frumento duro, varietà Mieti per il frumento tenero, varietà Argentina per l'avena e la varietà Federal per l'orzo.

L'avena, la prima coltura ad essere seminata nel nostro campo sperimentale, trova verso l'esterno uno stradello di bordo di circa 1,30m ed uno di confine con l'orzo di 0,70m; la semina è a fila continua presentando una parcella di 8 file disposte in 1,20m di larghezza e 42m di lunghezza. L'orzo si interpone tra due colture: a destra vi è l'avena e a sinistra il frumento tenero. Fra l'orzo e queste due colture vi sono due stradellini con larghezza di 0,70m l'uno. La semina è a fila continua e presenta 8 file disposte in 1,20m di larghezza e 42m di lunghezza.

Il frumento tenero ha alla sua destra l'orzo e a alla sua sinistra il frumento duro. Anche tra il frumento tenero e queste due colture vi sono due stradellini con larghezza simmetrica di 0,70m.

Il frumento duro si interpone tra un altro cereale, il frumento tenero, e una solanacea, la patata. Uno stradellino di 0,7m divide il frumento duro da quello tenero, mentre uno di 1,40m dalla patata.

Anche il girasole, la patata, la soia ed il mais, inizialmente unici oggetti di osservazione nel 2003, trovano costante dimora nel corso delle annate agrarie successive, con l'aggiunta dalla primavera 2004 di altre 3 colture macroterme: il sorgo, la soia ed il pomodoro.

Per ogni specie sono state seminate quattro o sei file, in modo da avere minor effetto di bordo, per cui i rilievi sono stati effettuati sulle piante delle file centrali.

La patata, varietà PRIMURA di origine olandese è stata seminata in differenti epoche; piuttosto tardivamente nel 2003, il 16 di aprile, fino ad arrivare al 2005 in cui l'epoca di semina è stata datata il 20 di marzo. Tale ampio *range* di semina dimostra quanto la messa a dimora dei tuberi sia strettamente dipendente dalle condizioni meteorologiche; il tubero è sempre di un calibro che va dai 4 ad i 5 cm e

come richiesto dal protocollo, è stato deposto per intero; la parcella ha una lunghezza di circa 42m ed una larghezza che va da 2,25m ai 3,75m (un interfila di 0,75m) a seconda del numero di solchi ricavabili in funzione dello spazio occupato dalle altre prove sperimentali. L'investimento è stato eseguito interrando un tubero ogni 0,20m sulla fila.

La barbabietola da zucchero, varietà CANARIA della Danisco Seed Italia spa, è stata seminata sempre tra il 17 (2005) ed il 23 di marzo (2004) ad una profondità di 10-12cm; la parcella ha una lunghezza di circa 42m ed una larghezza da 1,5 a 2,5m dipendente dal numero delle file (da 4 a 6 file con un'interfila di 0,5m). La densità di semina è di 0.2m con 10 piante per m<sup>2</sup>.

La semina del girasole, varietà MAJUS, della KWS, è stata effettuata tra la seconda metà di marzo (17 del 2005) e la seconda decade di aprile (16 del 2006), variabilità dovuta alla sensibilità germinativa della semente, la cui profondità di semina non supera di solito i 4-5cm. Anche qui la parcella ha una lunghezza di circa 40-42m ed una larghezza da 2,1 a 3,5m (con un interfila di 0,70m) a seconda degli spazi di semina.

Anche il mais, varietà PR34N43 della Pioneer HI-BRED Italia sementi, corrispettiva classe FAO 500 (128 giorni), ha presentato una forte variabilità nelle epoche di semina (17 marzo nel 2005 ed il 16 aprile 2003) ad una profondità di 4 cm; la parcella ha una lunghezza di circa 42m ed una larghezza da 2,1 a 3,5m (con un interfila di 0,70m) a seconda degli spazi di semina.

La semina del pomodoro, varietà RIO FUEGO, normalmente eseguita con una seminatrice manuale avente un disco con distanza di circa 2 cm, si ha generalmente entro i primi cinque giorni di aprile. La parcella ha una lunghezza di 42m ed una larghezza di 3,6m (4 file con un'interfila di 1.20m).

La semina della soia, varietà HILARIO, il cui seme è proveniente da agricoltura biologica, è stata eseguita ad una profondità di 3 cm sempre durante l'ultima decade di aprile; la parcella ha una lunghezza di 40-42m ed una larghezza da 1.5 a 2,5m a seconda che siano 4 o 6 file con interfila fisso di 0,5m).

Anche il sorgo, varietà KALBLANC, è stato seminato nello stesso periodo, per mezzo di una seminatrice meccanica manuale. La parcella ha una lunghezza di 42m e una larghezza di 1,5m (4 file con un'interfila di 0.5m).

Per la zucca, seminata il 28 aprile nel 2005 ed il 27 aprile nel 2006, è stata utilizzata la varietà di un ecotipo locale denominato ungherese. La coltura occupa due file che distano tra esse 3m per una lunghezza di 42m; la distanza dall'adiacente sorgo risulta essere di 3 metri. La sequenza delle colture è evidenziata nello schema sottostante (tab. 3.1), mentre le colture in relazione alle rispettive epoche di semina durante gli anni nella successiva tabella 3.2.

Z	S	S	P	M	G	B	P	D	T	A	O
U	O	O	O	A	R	I	A	U	E	V	R
C	R	I	D	I	A	E	T	R	N	E	Z
C	O	A	O	S	S	T	A	O	E	N	O
A			R		O	O	T		R	A	
			O		L	L	A		O		
					E	A					

**Tabella 3.1** - Schema indicante la sequenza delle colture della stazione agrofenologica di Cadriano

Semine	Orzo	Avena	Tenero	Duro	Patata	Bietola	Girasole	Mais	Pomodoro	Soia	Sorgo	Zucca
2003	14 nov	14 nov	14 nov	14 nov	16 apr	-	16 Apr	16 apr	-	30 apr	-	-
2004	27 ott	27 ott	27 ott	27 ott	22 mar	23 mar	31 Mar	31 mar	1 apr	23 apr	23 apr	-
2005	31 ott	31 ott	31 ott	31 ott	15 mar	17 mar	17 Mar	17 mar	1 apr	20 apr	20 apr	28 apr
2006	18 ott	18 ott	18 ott	18 ott	20 mar	20 mar	29 Mar	29 mar	5 apr	19 apr	19 apr	27 apr

**Tabella 3.2** - Epoche di semina di tutte le colture della stazione agrofenologica di Cadriano

Caso a parte fa la parcella di erba medica inserita alla testata del campo agrofenologico, ad una distanza di circa due metri dalla parcella di orzo e per la quale la raccolta dei dati fenologici del primo ciclo biennale è ancora in corso ed in fase di sperimentazione.

### 3.2 Descrizione dei rilievi agrofenologici nelle colture erbacee

Le osservazioni fenologiche sui singoli individui (fenoidi) vengono annotate su delle apposite schede di rilevamento.

Ciascuna scheda quindi si riferisce ad una particolare pianta, di cui deve essere indicata la specie, la sigla di riconoscimento (posizione) e l'anno di rilievo. In generale per quanto riguarda la registrazione delle osservazioni agrofenologiche sono state proposte tre diverse modalità di registrazione dei dati (Botarelli et al., 2006), diversificate a seconda delle finalità del rilevamento stesso, ovvero se di tipo agronomico (tab. 3.3), di tipo naturalistico (tab. 3.4) o parcellare (tab. 3.5).

Nel primo caso vengono segnalate solo le fasi fenologiche più frequentemente considerate nelle schede di rilevamento agrofienologico, ovvero per ciascuna fase, il codice BBCH corrispettivo è stato indicato sia nella componente primaria (fase fenologica principale) che secondaria (stadio di avanzamento della fase fenologica principale). Una “x” sul quadratino posto a lato della descrizione della fase osservata, permette al rilevatore di registrare l’evento fenologico quando questo risulti applicabile almeno al 50% delle piante facenti parte del campione osservato.

Fasi fenologiche – codice BBCH		Fasi fenologiche – codice BBCH	
Pre-emergenza – 00		Inizio spigatura - 51	
Emergenza – 09		Inizio fioritura - 61	
2 <sup>a</sup> foglia - 12		Fine fioritura - 69	x
3 <sup>a</sup> foglia - 13		Inizio maturazione lattea - 73	
Primo accestimento – 21		Inizio maturazione cerosa - 83	
Inizio levata – 30		Piena maturazione - 89	
Media botticella – 43			

**Tabella 3.3** - Registrazione vincolata: esempio di un rilievo in cui oltre il 50% dei campioni presenta il termine della fioritura

Nella registrazione libera (tab. 2) sono segnalati solo gli stadi di sviluppo che corrispondono alle fasi fenologiche principali (da 0 a 9) e viene lasciato al rilevatore il compito di scrivere nello spazio apposito (colonna BBCH) lo stadio secondario che codifica esattamente l’evento fenologico osservato, potendo discriminare in tal modo anche sulle percentuali di comparsa della fase.

Fasi fenologiche	BBCH	Fasi fenologiche	BBCH
Germinazione (00-09)	.....	Spigatura (51-59)	59
Sviluppo delle foglie (10-19)	.....	Fioritura (61-69)	.....
Accestimento (20-29)	.....	Sviluppo delle cariossidi (71-77)	.....
Allungamento del fusto (30-39)	.....	Maturazione (83-89)	.....
Formazione della botticella (41- 49)	.....	Senescenza (91-99)	.....

**Tabella 3.4** - Registrazione libera: esempio in cui viene rilevato tra i campioni lo stadio di completa spigatura

Nella registrazione specifica parcellare, utilizzata prettamente nei rilievi per le colture erbacee, vengono indicati essenzialmente il numero delle piante campione presenti, a ciascuna delle quali verrà attribuito un valore BBCH.



<b>Fr. Duro</b>	<u>Rilievo del 27 febbraio 2005</u>										
<i>campioni</i>	Pta 1	Pta 2	Pta 3	Pta 4	Pta 5	Pta 6	Pta 7	Pta 8	Pta 9	Pta 10	<b>BBCH medio</b>
<i>Classif BBCH</i>	23	24	23	23	23	24	22	23	23	22	<b>23</b>
<i>Note fenologiche</i>											
<i>Ulteriori note</i>	La parcella risulta essere completamente coperta dal manto nevoso.										

**Tabella 3.5** - Registrazione specifica parcellare

Questo tipo di scheda, usata nella classificazione delle fasi nella stazione agrofenologica di Cadriano, ci permette di monitorare in relazione alla data di osservazione, l'evoluzione fenologica delle singole piante, permettendoci di analizzare eventuali anomalie di sviluppo di un singolo campione rispetto al dato fenologico medio. Inoltre è possibile annotare per ciascuno dei fenoidi dei richiami fenologici ed agronomici oltre che dei commenti meteorologici straordinari che possono aver condizionato il ciclo biologico della coltura ( forte vento, violenti acquazzoni etc.). Le schede delle differenti specie coltivate vengono compilate seguendo gli accorgimenti sopra citati e si differenziano tra loro solo per il numero di campioni (tab. 3.6) il quale è stato scelto in base a quanto riportato dal protocollo del progetto Phenagri a cui si fa riferimento.

<b>SPECIE</b>	<b>n° Campioni</b>	<b>SPECIE</b>	<b>n° Campioni</b>
<b>Avena</b>	<b>10</b>	<b>Girasole</b>	<b>10</b>
<b>Orzo</b>	<b>10</b>	<b>Mais</b>	<b>6</b>
<b>Frumento tenero</b>	<b>10</b>	<b>Pomodoro</b>	<b>6</b>
<b>Frumento duro</b>	<b>10</b>	<b>Soia</b>	<b>10</b>
<b>Patata</b>	<b>6</b>	<b>Sorgo</b>	<b>10</b>
<b>Bietola</b>	<b>20</b>	<b>Zucca</b>	<b>6</b>
<b>Medica</b>	<b>3 aree 1m<sup>2</sup></b>	-----	-----

**Tabella 3.6** - Numero di campioni analizzati per ciascuna coltura

### 3.3 Rilievi biometrici

Ai rilievi fenologici possono essere associati i rilievi biometrici i quali variano al variare delle specie. Lo scopo fondamentale di un'indagine biometrica è la ricerca del tipo ideale che si traduce, in pratica, nella ricerca del tipo molto frequente, detto anche normale o regolare. Pertanto è necessario censire e classificare, rispetto a prestabilite qualità, un insieme d'esseri viventi caratterizzati, di solito, dalla bio – diversità e non legati secondo la logica comune, ad un carattere metrico.

I rilievi biometrici intesi nel mondo vegetale risultano quindi degli utili indicatori di crescita sia *in itinere*, durante il ciclo biologico della pianta, sia in fase di valutazione finale per effettuare comparazioni produttive tra le diverse annate agrarie. Essi possono essere distruttivi, quando si prelevano dei campioni o parte di essi per la misura ad esempio dell'umidità della granella, o non distruttivi, quando il rilievo può essere effettuato direttamente in campo esentando l'individuo vegetale da qualsiasi privazione di massa (ad esempio la misura dell'altezza).

Nei cerali vernini, su orzo, avena, frumento tenero e duro sono stati calcolati, con cadenza settimanale, le umidità delle cariossidi a partire da 30 giorni prima della presunta raccolta.

In corrispondenza della raccolta, quindi in maturazione commerciale, è stata misurata l'altezza delle piante e calcolato l'investimento effettivo finale sulla base del numero di accestimenti e le relative spighe per pianta.

Nella barbabietola da zucchero ogni tre settimane a partire da circa due mesi dalla presunta raccolta, vengono misurati il contenuto zuccherino, il diametro massimo, la lunghezza ed il peso dei fittoni; tale valutazione viene in fine effettuata alla raccolta distinguendo tra piante eventualmente rifiorite e quelle che presentano possibili evidenti ricacci vegetativi.

Nella zucca dall'emissione del secondo getto laterale, viene valutata a vista e mediante uno strumento fotografico la percentuale di copertura vegetale della superficie totale su cui insistono le piante della parcella. Questa misura viene effettuata con cadenza settimanale. In epoca di raccolta vengono successivamente calcolati per lo stolone principale, il numero, la lunghezza, il volume ed il peso specifico di ciascun frutto. Anche per la patata viene stimata la copertura vegetale (*crop cover*); inoltre dall'inizio della formazione dei tuberi, con cadenza quindicinale, viene effettuato un campionamento di 3 piante, di queste viene misurato il peso della parte epigea e calcolata la sostanza secca, nonché valutato il numero, il calibro ed il peso dei tuberi.

Nel girasole a partire dalla maturazione cerosa viene calcolata l'umidità degli acheni misurata su 5 calatidi ogni 10 giorni ed in corrispondenza dell'epoca di raccolta, vengono misurate l'altezza delle piante campione, il peso e l'umidità degli acheni e calcolata la sostanza secca (s.s.).

I rilievi biometrici nel mais vengono effettuati già all'emergenza completa del pennacchio, da quando, settimanalmente, viene misurata l'altezza delle piante campione. Successivamente dalla fase di senescenza delle sete vengono prelevate ogni dieci giorni, tre spighe sulle quali viene calcolata l'umidità. In maturazione commerciale infine vengono misurate il peso della pianta (s.s.) ed il peso ed umidità delle cariossidi. Nel pomodoro oltre che la valutazione della copertura vegetale, viene calcolato, in fase di raccolta, il peso della parte epigea (s.s.), il numero ed il peso delle bacche facendo distinzione

tra prodotto commerciabile, verde e marcio. Nel sorgo a partire dalla fioritura viene misurata l'altezza delle piante campione; dalla maturazione cerosa, ogni dieci giorni viene rilevata l'umidità delle cariossidi e in maturazione commerciale vengono calcolati il peso della pianta (s.s.), il peso ed umidità delle cariossidi dei panicoli campione. La soia segue gli stessi rilievi biometrici del sorgo con l'aggiunta al termine del proprio ciclo biologico, della valutazione della nodulazione, misurata su 5 piante contigue dopo l'ultima irrigazione. Infine dal 2006 è stata introdotta l'erba medica il cui rilievo biometrico di valutazione della sostanza secca viene effettuato in corrispondenza delle epoche di sfalcio.

### 3.4 Come collezionare i dati di una stazione fenologica

Dopo il rilievo eseguito in campo, i dati dovranno essere immagazzinati in un database, il quale sarà in grado di fornire sempre un quadro chiaro e completo della situazione fenologica delle colture esaminate nel tempo. Il mezzo migliore per trattare l'informazione fenologica è tramite un foglio di lavoro access. Questo *data-storage* costa essenzialmente di una maschera di inserimento input e da un foglio riepilogativo dove vengono presentati in sequenza temporale gli output. Nella maschera (fig. 3.1) vengono riportati la data, il sito di rilevamento, il nome del rilevatore, la specie da classificare, lo stadio fenologico secondo la scala BBCH (fino a due valori in caso di monitoraggio di due organi della pianta) ed infine uno specchio note nel quale potranno essere inserite notizie meteorologiche o agronomiche accessorie di rapida visibilità.

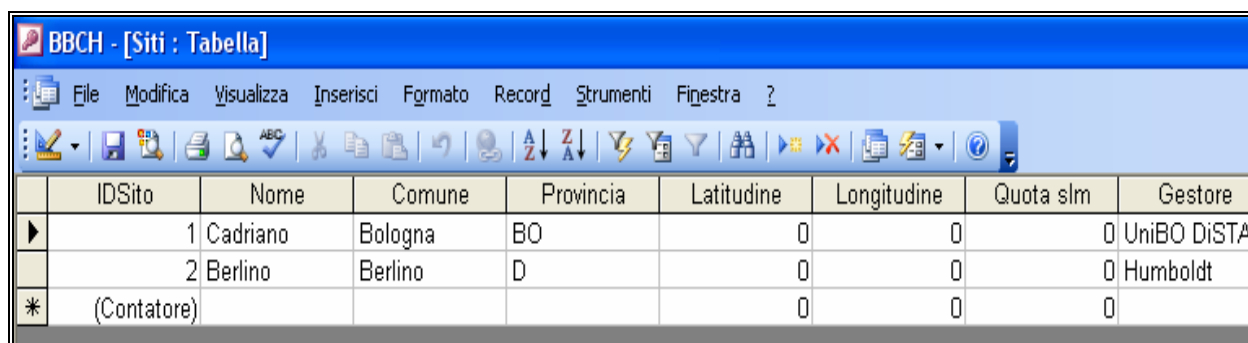
**Figura 3.1** - Maschera per l'inserimento delle informazioni fenologiche, meteorologiche ed agronomiche

Tale maschera presenta un *background* strutturale assemblato da diversi parametri:

- Stazione fenologica di riferimento

Deve essere definito il sito in cui i rilievi vengono effettuati. Nel database viene sviluppata, in figura 3.2 la descrizione peculiare delle locazioni delle stazioni agrofенologiche secondo un numero sequenziale (contatore), il nome del luogo, il comune, la provincia e la nazione di appartenenza.

Inoltre vengono evidenziate le coordinate geografiche di latitudine e longitudine, la quota sul livello del mare ed il nome del gestore che ne prende in utilizzo i dati prodotti.

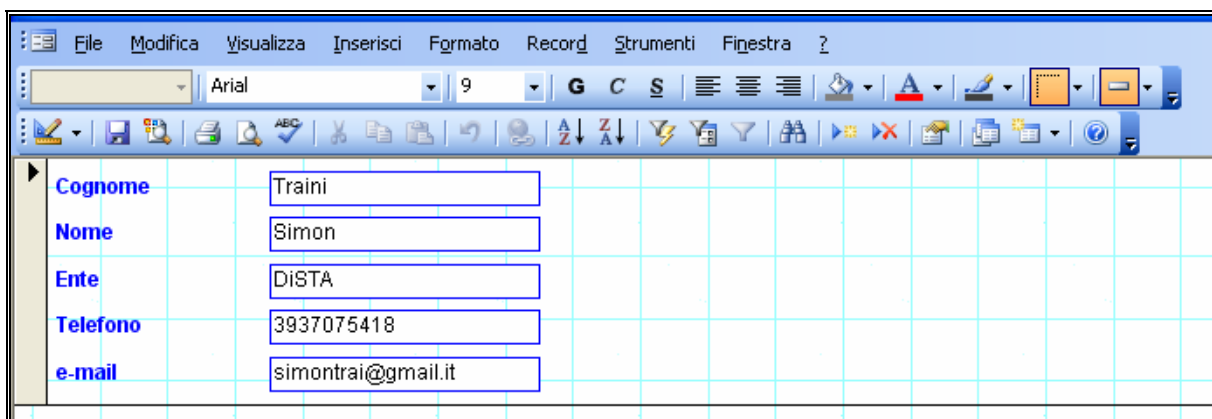


	IDSito	Nome	Comune	Provincia	Latitudine	Longitudine	Quota slm	Gestore
▶	1	Cadriano	Bologna	BO	0	0	0	UniBO DiSTA
	2	Berlino	Berlino	D	0	0	0	Humboldt
*	(Contatore)				0	0	0	

**Figura 3.2** - Tabella per l'inserimento delle località

#### – Rilevatore

Ogni rilevatore facente parte del *network* fenologico verrà registrato nel database (fig. 3.3) in modo che il suo nome e cognome, l'ente di appartenenza, il numero di telefono e l'indirizzo email possano essere sempre visualizzabili.



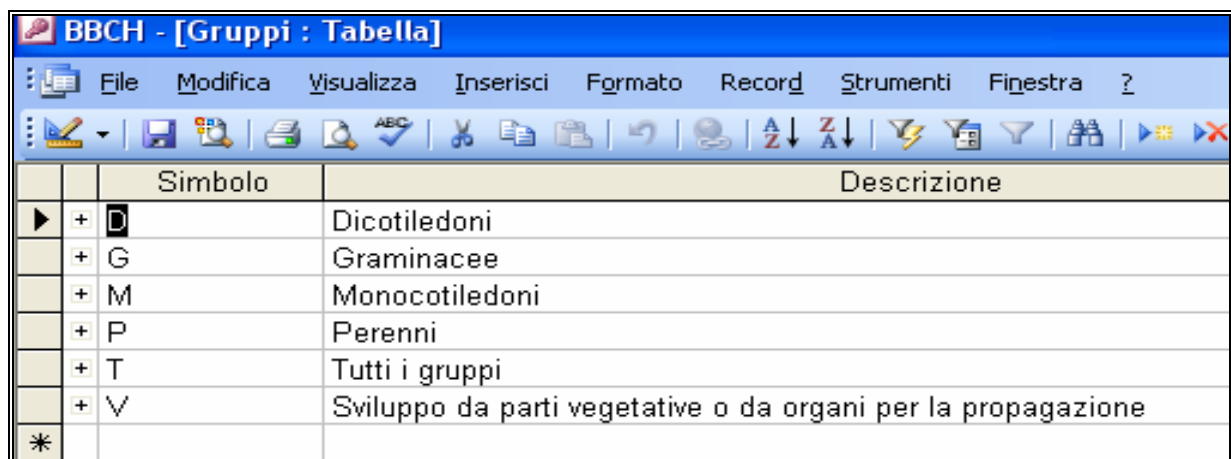
<b>Cognome</b>	Traini
<b>Nome</b>	Simon
<b>Ente</b>	DiSTA
<b>Telefono</b>	3937075418
<b>e-mail</b>	simontraini@gmail.it

**Figura 3.3** - Inserimento dati del rilevatore fenologico

#### – Gruppi e specie di appartenenza delle colture

I gruppi di appartenenza di ciascuna specie saranno caricati all'interno del database associati ad un simbolo (fig. 3.4) che ne determinerà la corrispondenza biunivoca.

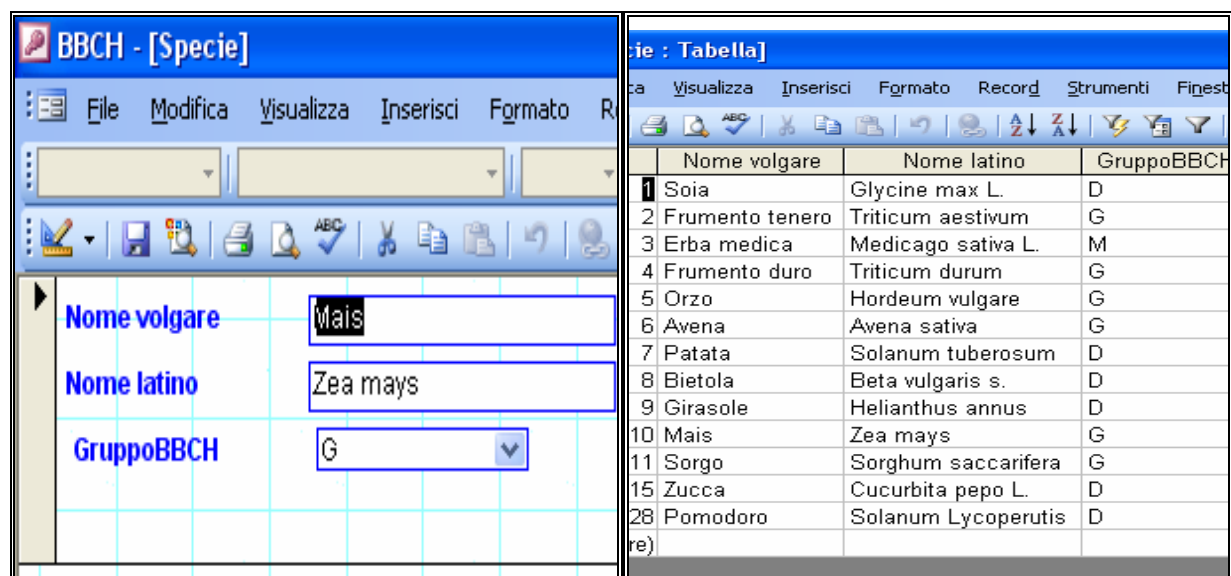
Ogni simbolo (D, G, M, M, T, V) rappresenterà un gruppo BBCH al quale risponderanno un numero definito di specie.



	Simbolo	Descrizione
▶ +	D	Dicotiledoni
+	G	Graminacee
+	M	Monocotiledoni
+	P	Perenni
+	T	Tutti i gruppi
+	V	Sviluppo da parti vegetative o da organi per la propagazione
*		

**Figura 3.4** - Famiglie, classi ed ordini vegetali

Di ciascuna specie (fig. 3.5) viene evidenziato il nome in volgare ed in latino ed individuato un numero di contatore associando il quale sarà possibile definire univocamente la scala fenologica di quella determinata coltura appartenente a quel determinato gruppo e specie.



	Nome volgare	Nome latino	GruppoBBCH
1	Soia	Glycine max L.	D
2	Frumento tenero	Triticum aestivum	G
3	Erba medica	Medicago sativa L.	M
4	Frumento duro	Triticum durum	G
5	Orzo	Hordeum vulgare	G
6	Avena	Avena sativa	G
7	Patata	Solanum tuberosum	D
8	Bietola	Beta vulgaris s.	D
9	Girasole	Helianthus annuus	D
10	Mais	Zea mays	G
11	Sorgo	Sorghum saccharifera	G
15	Zucca	Cucurbita pepo L.	D
28	Pomodoro	Solanum Lycopersitis	D

**Figura 3.5** - Nomenclatura delle colture e relativo codice

#### – Descrizione scala BBCH

Ogni specie verrà identificata in una tabella *input* da un numero di contatore al quale corrisponderà un determinato valore BBCH; affianco di tale numero verrà mostrata una descrizione dettagliata dello stadio fenologico associato (fig. 3.6).

BBCH - [ScaleBBCH : Tabella]		
Specie	BBCH	Descrizione
4	22	2 culmi di accestimento visibili
4	23	3 culmi di accestimento visibili
4	24	4 culmi di accestimento visibili
4	25	5 culmi di accestimento visibili
4	26	6 culmi di accestimento visibili
4	27	7 culmi di accestimento visibili
4	28	8 culmi di accestimento visibili
4	29	9 o più culmi di accestimento visibili
4	30	Inizia l'allungamento del fusto: i culmi di accestimento sono eretti e il primo internodo inizia ad allungarsi. La distanza tra i culmi di accestimento si presentano eretti e il primo internodo inizia a
4	31	1 nodo distinguibile (al tatto): il primo nodo si colloca almeno 1 cm sopra il piano basale
4	32	2 nodi distinguibili: il secondo nodo si colloca almeno a 2 cm sopra il primo nodo
4	33	3 nodi distinguibili: il terzo nodo si colloca almeno a 2 cm sopra il secondo nodo
4	34	4 nodi distinguibili: il quarto nodo si colloca almeno a 2 cm sopra il terzo nodo
4	35	5 nodi distinguibili: il quinto nodo si colloca almeno a 2 cm sopra il quarto nodo
4	36	6 nodi distinguibili: il sesto nodo si colloca almeno a 2 cm sopra il quinto nodo
4	37	Foglia a bandiera è appena visibile, ed ancora avvolta al culmo principale
4	39	Stadio della foglia a bandiera: la foglia è completamente distesa, la ligula è appena visibile
4	41	Inizio dello stadio della botticella: estensione della guaina della foglia a bandiera
4	43	Stadio di media botticella: la guaina della foglia a bandiera è appena rigonfia )
4	45	Stadio finale di botticella: la guaina della foglia a bandiera è rigonfia (stadio finale di botticella)
4	47	Apertura della guaina della foglia a bandiera
4	49	Prime reste visibili (solo nelle varietà a ristate)
4	51	Inizio della spigatura: l'infiorescenza è appena visibile: la punta dell'infiorescenza ovvero l'insieme delle spighe, fu
4	52	20% dell'infiorescenza emerso
4	53	30% dell'infiorescenza emerso
4	54	40% dell'infiorescenza emerso
4	55	Metà spigatura: il 50% dell'infiorescenza è emerso
4	56	60% dell'infiorescenza emerso

**Figura 3.6** - Input di descrizione degli stadi di crescita e codice di traduzione in scala BBCH

Più nello specifico nella sottostante (fig. 3.7) vengono inseriti in funzione dei gruppi a cui appartengono le differenti specie, delle colonne di valori che definiscono singolarmente lo stadio BBCH principale, la classificazione BBCH finale correlata dai valori degli stadi secondari e la corrispondente descrizione della fase fenologica.

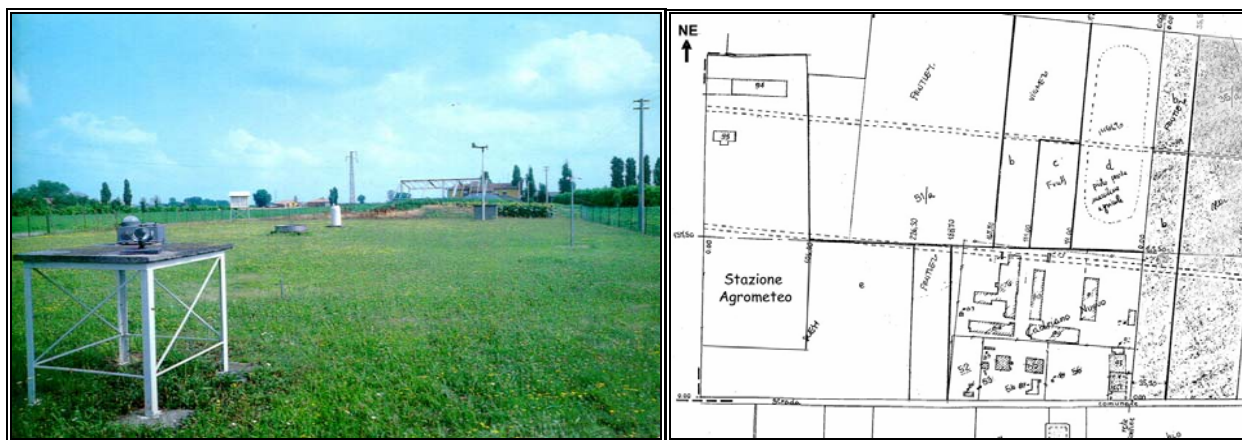
BBCH - [StadiSecondari : Tabella]					
IDBBCH	Secondario	Principale	Gruppi	Specie	Descrizione
37	59	5 D M V P			Primi petali dei fiori visibili (nelle forme con petali)
38	59	5 G			Emergenza completa delle infiorescenze (fine spigatura)
39	40	4 D M V P			Le parti vegetative destinate alla futura raccolta o gli organi per la propa
40	41	4 G			Estensione della guaina della foglia a bandiera
41	43	4 D M V P			Raggiunto il 30% delle dimensioni finali delle parti destinate alla raccolt
42	43	4 G			La guaina della foglia a bandiera è appena visibilmente gonfia (stadio di
43	45	4 D M V P			Raggiunto il 50% delle dimensioni finali delle parti destinate alla raccolt
44	45	4 G			La guaina della foglia a bandiera è rigonfia (stadio finale di botticella)
45	47	4 D M V P			Raggiunto il 70% delle dimensioni finali delle parti destinate alla raccolt
46	47	4 G			Apertura della guaina della foglia a bandiera
47	49	4 D M V P			Raggiunto il 90% delle dimensioni finali delle parti destinate alla raccolt
48	49	4 G			Prime reste visibili
49	31	3 G			1 nodo distinguibile
50	32	3 G			2 nodi distinguibili
51	33	3 G			3 nodi distinguibili
52	34	3 G			4 nodi distinguibili
53	35	3 G			5 nodi distinguibili
54	36	3 G			6 nodi distinguibili
55	37	3 G			7 nodi distinguibili
56	38	3 G			8 nodi distinguibili
57	39	3 G			9 o più nodi distinguibili
58	31	3 D M V P			Fusto al 10% della lunghezza finale o rosetta al 10% del diametro finale
59	32	3 D M V P			Fusto al 20% della lunghezza finale o rosetta al 20% del diametro finale
60	33	3 D M V P			Fusto al 30% della lunghezza finale o rosetta al 30% del diametro finale
61	34	3 D M V P			Fusto al 40% della lunghezza finale o rosetta al 40% del diametro finale
62	35	3 D M V P			Fusto al 50% della lunghezza finale o rosetta al 50% del diametro finale
63	36	3 D M V P			Fusto al 60% della lunghezza finale o rosetta al 60% del diametro finale
64	37	3 D M V P			Fusto al 70% della lunghezza finale o rosetta al 70% del diametro finale
65	38	3 D M V P			Fusto al 80% della lunghezza finale o rosetta al 80% del diametro finale
66	39	3 D M V P			Raggiungimento della lunghezza massima del fusto o raggiungimento d
67	21	2 G			Primo culmo di accestimento visibile

**Figura 3.7** - Schema completo di descrizione delle fasi fenologiche presenti nel database

Una volta creata la maschera della coltura interessata, verrà automaticamente prodotto un *output* riepilogativo nel quale i parametri sopra elencati verranno correlati dall'intera sequenza di tutti i dati sino a quel momento raccolti per ogni singola coltura.

### 3.5 Stazione agrometeorologica di Cadriano

La stazione agrometeorologica del DiSTA (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali della Facoltà di Agraria dell'Università di Bologna), è ubicata a Cadriano, comune di Granarolo dell'Emilia (Bo), a 33 m sul livello del mare (fig. 3.8).



**Figura 3.8** - Vista esterna della stazione meteorologica di Cadriano e prospetto topografico

La stazione è annessa ai campi sperimentali della facoltà di Agraria ed è situata nel centro di un'area piana e libera da ostacoli. L'area selezionata è compresa tra il 44°35 latitudine nord e 11°27 longitudine est.

La zona è rappresentativa delle condizioni di clima e suolo della pianura bolognese (Ventura F. et al. 2002).

Essa è coperta da un prato polifita permanente (tenuto falciato tra gli 8 ed i 15 cm e che non necessita di interventi irrigui) ed è circondata da una rete metallica a maglie larghe di 1,2 m di altezza.

La zona è rappresentativa delle condizioni di clima e suolo relativamente all' area della pianura bolognese per la quale i dati vengono utilizzati. Per il tipo ed il posizionamento degli strumenti si sono seguite le regole della organizzazione mondiale di meteorologia, la *World Meteorological Organization* (WMO).

Gli strumenti in dotazione sono i seguenti:

- i. pluviografo a vaschette oscillanti, con imbuto raccoglitore di 1000 cm, posto ad 1.5 m dal

terreno,

- ii. termoigrografo, posto in capannina a 1.5 m dal terreno,
- iii. termometri a massima (a mercurio) ed a minima (ad alcool), posti in capannina ad 1.5 m dal terreno,
- iv. evaporimetro di “Classe A”, posto su basamento di traversine di legno di 15 cm,
- v. eliofanografo di CampbellStone, posto ad 1.5 m dal terreno,
- vi. piranografo di Robitsch, posto a 1.5 m dal terreno,
- vii. solarimetro (Kippen en Zonen), posto a 1.5 m dal terreno,
- viii. anemografo a coppe rotanti posto a 2 m dal terreno.

A questi strumenti meteorologici sono stati aggiunti anche sei freatimetri per la misura del livello della falda freatica ipotermica, dalla superficie del terreno.

I termometri a massima ed a minima, il pluviografo e l'evaporimetro vengono letti alle ore 8 di ogni giorno e le misure di temperatura massima, di pioggia e di evaporazione vengono attribuite al giorno precedente, quelle di temperatura minima al giorno in corso.

Tutti gli strumenti vengono controllati settimanalmente, tuttavia vi possono essere periodi di mancanza di rilievi dovuti a manutenzione e nelle tabelle vengono indicati con due asterischi.

Alcuni degli strumenti sono elettronici (termoigrometro, pluviometro, anemometro e radiometro) e collegati ad un *datalogger* così da registrare il dato orario delle relative quantità.



## 4 Risultati

### 4.1 Descrizione meteorologica dell'area: andamenti termici a confronto

I dati meteorologici utilizzati nell'elaborazione dei dati per l'utilizzo dei modelli delle somme termiche e dell'ARPAmoD sono stati registrati nella stazione agrometeorologica del DiSTA (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali della Facoltà di Agraria dell'Università di Bologna), a Cadriano (Bo), a 33 m sul livello del mare, 44°35 latitudine nord e 11°27 longitudine est (cap.3).

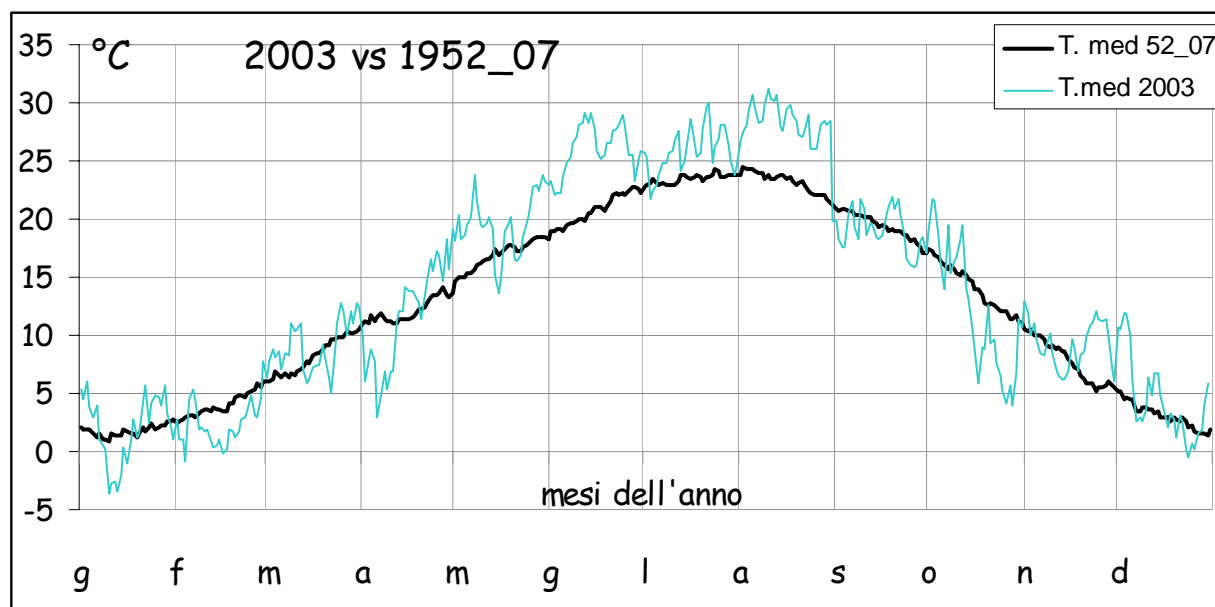
Sono stati utilizzati nelle simulazioni degli sviluppi fenologici solamente le temperature minime e massime degli ultimi 4 anni, dal 2003 al 23 febbraio 2007.

Per avere però una visione più completa delle condizioni meteorologiche della zona si può lavorare su di una banca dati molto ricca.

Le elaborazioni sono state effettuate, "setacciando" un periodo complessivo di 55 anni dal 1952 al 2007 e attraverso l'utilizzo di tecniche statistiche lì dove potevano incontrarsi dei dati mancanti o di difficile interpretazione.

Il 2003 è stato l'anno in cui è iniziata la campagna sperimentale.

Tra le colture esaminate il mais è stato seminato il 16 di aprile ed i cereali vernini il 14 di novembre.



**Figura 4.1.1** – Andamento termico annuo delle temperature medie giornaliere del 2003 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007

Come vedremo in seguito, il fattore temperatura sarà tanto più influente quando più ci si avvicina alla maturazione.

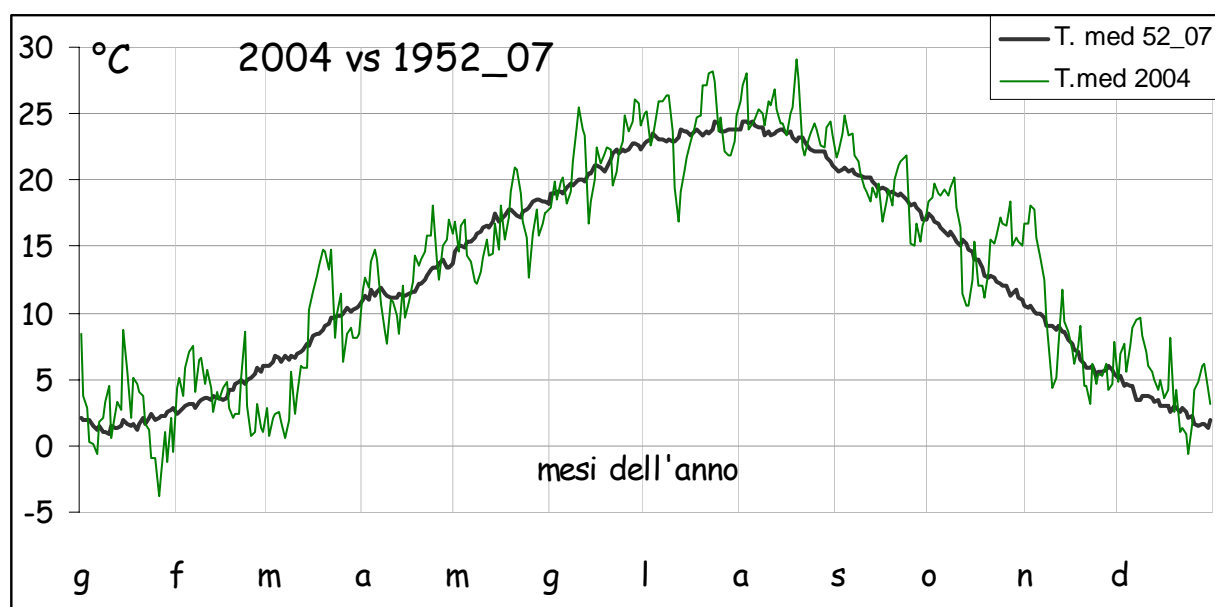
Il periodo in cui la pianta è maggiormente suscettibile a tale elemento climatico inizia con la fioritura culminando nella maturazione fisiologica.

Nel 2003 (fig. 4.1.1), le temperature hanno avuto un comportamento solitamente al di sopra dei valori medi del periodo storico di 55 anni di confronto.

I mesi che maggiormente hanno presentato valori sopra la norma sono stati i mesi estivi, con temperature medie anche 7 – 8 °C superiori alla media. Come vedremo tale anomalia termica inciderà molto sulla coltura del mais, che accelererà notevolmente il suo processo di maturazione.

Infatti non solo la fioritura sarà anticipata per gli alti valori termici di giugno, ma anche la maturazione fisiologica, piena e di raccolta presenteranno anticipi senza precedenti.

Nel 2004 l'andamento presenta una certa discontinuità rispetto ai valori delle medie storiche, senza manifestare dei macro-picchi come invece riscontrato nel 2003 (giugno-luglio-agosto). Si evidenziano comunque due fasi piuttosto ampie in cui le temperature si sono allontanate dai valori storici.

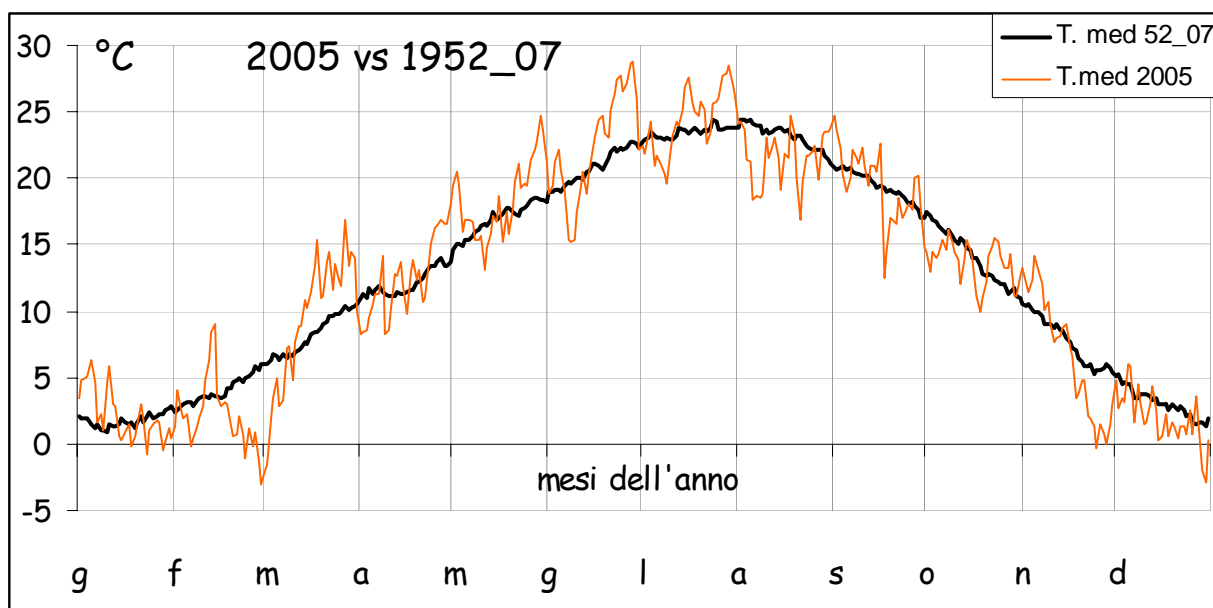


**Figura 4.1.2** – Andamento termico annuo delle temperature medie giornaliere del 2003 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007

Dalla fine di febbraio alla prima metà di marzo si sono registrati valori anche di 5-6 °C inferiore agli *standard*, mentre dalla seconda metà di ottobre alla prima settimana di novembre si è avuto un incremento delle medie di circa 7 °C con temperature medie giornaliere i primi di novembre intorno ai 18 °C , Tali condizioni termiche hanno favorito la fase di germinazione ed emergenza nei cereali vernini seminati il 27 di ottobre.

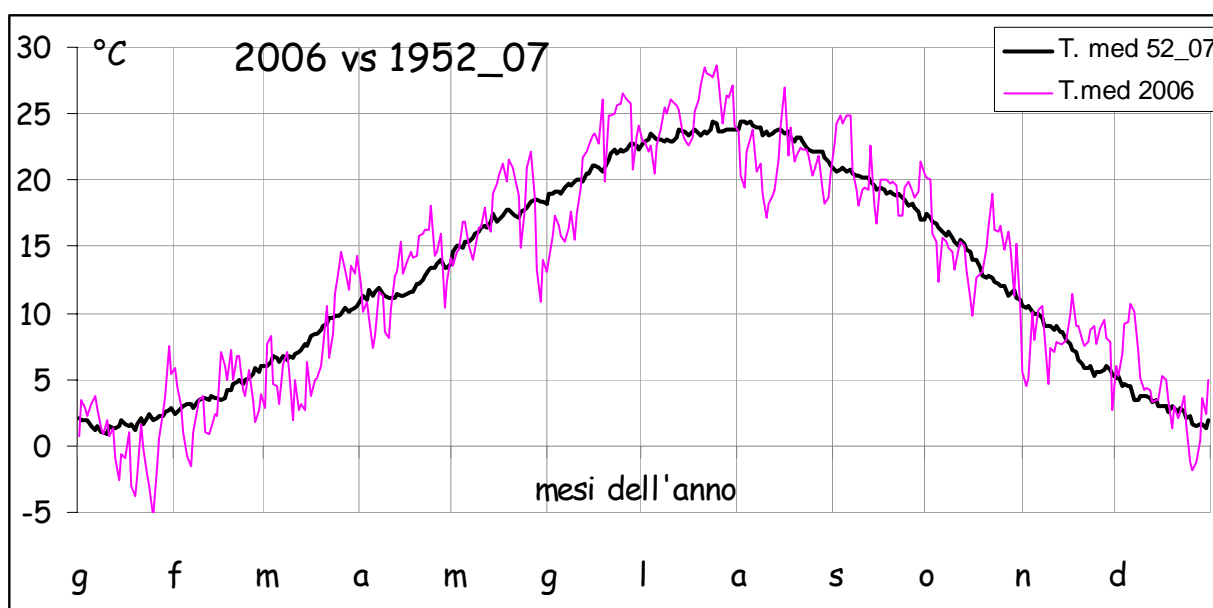
Il 2005 (4.1.3) evidenzia molto presto già dalla seconda metà di febbraio un forte calo delle temperature. Tale situazione termica permane fino alla prima decade di marzo. In questo periodo si sono avute ingenti e numerose nevicate, le quali hanno creato condizioni di isolamento termico abbastanza prolungato sulle colture.

Infatti il manto nevoso caduto in vari eventi meteorici sulle parcelle dei cereali vernini, ha favorito la coibentazione termica delle piantine, le quali sono rimaste indenni anche a temperature massime giornaliere ben superiori agli 0 °C.



**Figura 4.1.3** – Andamento termico annuo delle temperature medie giornaliere del 2003 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007

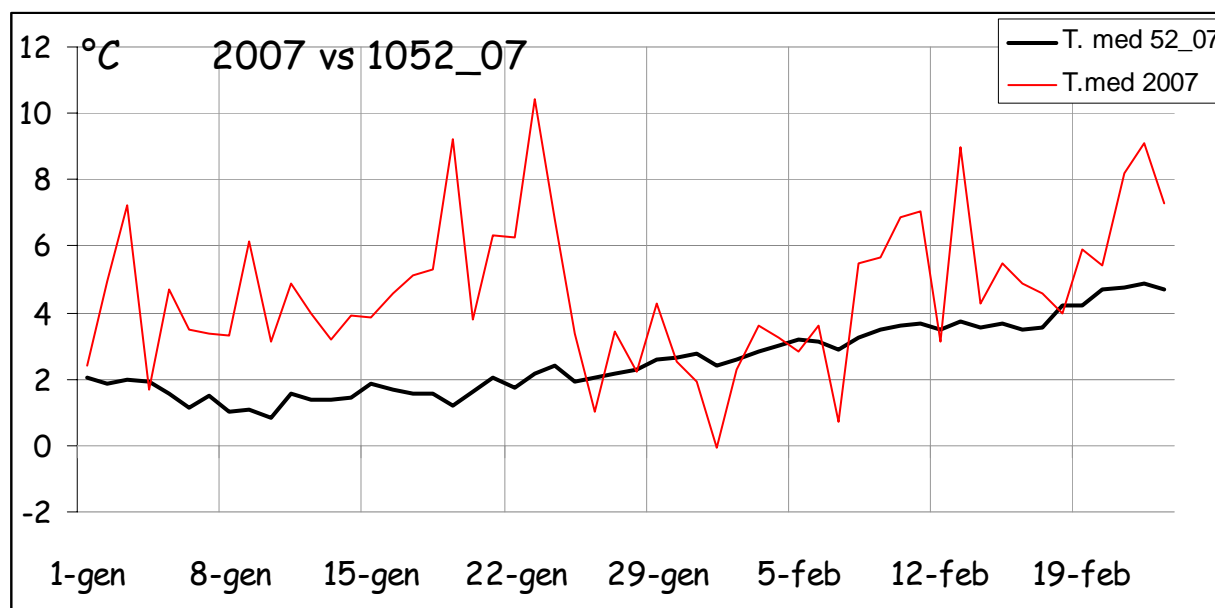
Il 2006 (fig. 4.1.4) risulta essere molto frastagliato, non ci sono delle larghe aree di persistenza di valori al di sopra o al di sotto dei valori *standard*, anche se ci sono dei picchi termici molto interessanti.



**Figura 4.1.4** – Andamento termico annuo delle temperature medie giornaliere del 2003 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007

Prendendo in esame i primi mesi dell'anno del 2007 (fig.4.1.5) e confrontando i dati con quelli ricavati dalla media degli ultimi 55 anni risulta evidente il *gap* di temperatura.

Si nota come soprattutto in gennaio le temperature medie dell'anno corrente siano nettamente al di sopra dei valori storici. I picchi del 19 di gennaio di 9,2°C e di 10,5°C registrati il 23 dello stesso mese, dimostrano come l'anomalia climatica prospetti soprattutto per tutto il mese di gennaio e dalla seconda metà di quello di febbraio delle condizioni quasi primaverili.



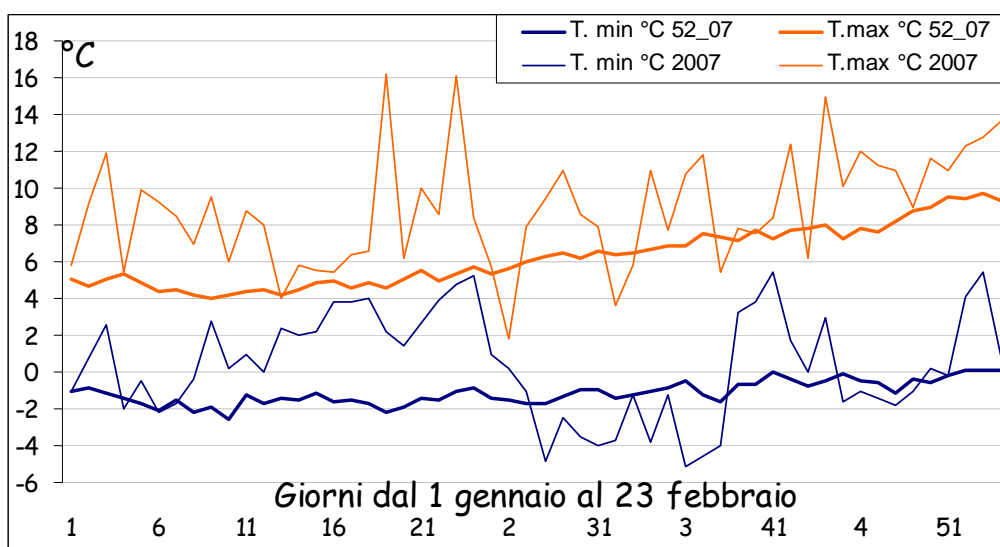
**Figura 4.1.5** – Andamento termico delle temperature medie giornaliere del 2007 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007 dal 1 gennaio al 23 febbraio

In figura 4.5 vengono evidenziati gli andamenti delle temperature massime e minime dei primi due mesi dell'anno del 2007 e confrontati con i valori della media storica corrispondente. Da un'attenta analisi risulta che nel mese di gennaio sia le massime che le minime concorrono all'innalzamento delle temperature medie.

I valori minimi si mantengono per un periodo consecutivo di quasi 20 giorni, anche fino a 6°C al di sopra dei valori *standard* (il 24 gennaio 5,2°C contro -0,8°C).

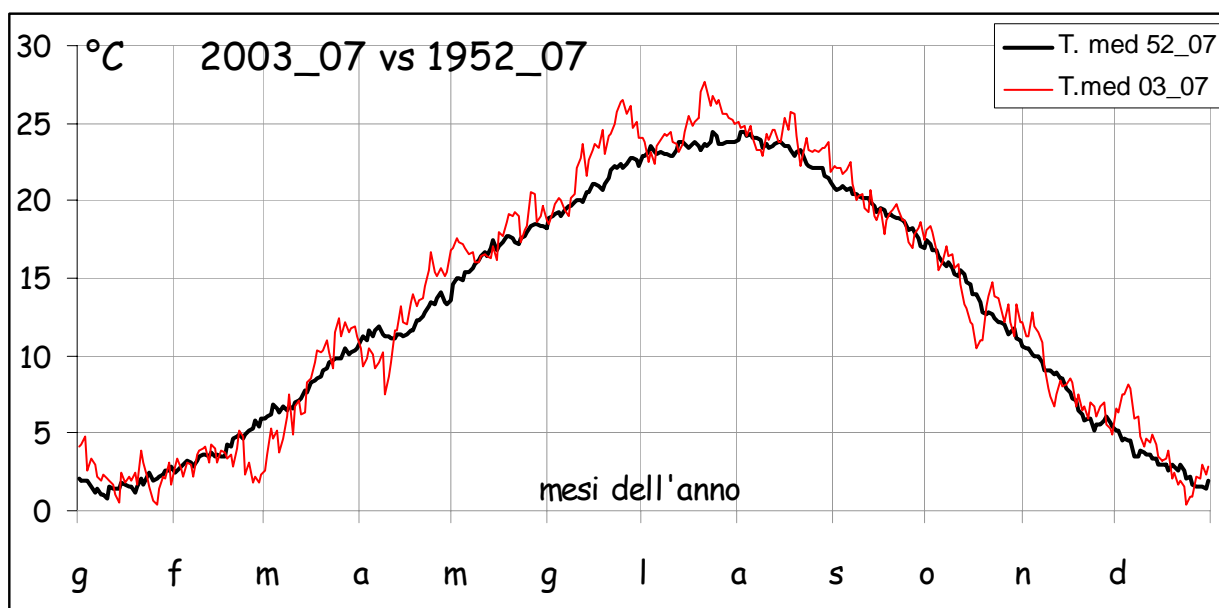
Tra la fine di gennaio e la prima settimana di febbraio si assiste ad un'inversione di tendenza in cui le temperature minime del 2007 si mostrano al di sotto, anche -4°C, dei valori *standard*.

La rimanente parte dell'andamento riprende la tendenza anomala già delineata nel mese di gennaio. Considerazione speciale la acquistano le temperature massime, che eccetto in 3 giorni, nei 54 giorni in esame, presentano valori sempre eccezionalmente al di sopra dei valori massimi medi del periodo storico. Le quantità termiche raggiunte sono sempre ampiamente al di sopra degli *standard*, distaccandosi anche di circa 10-11°C nei giorni del 19 e 23 gennaio, giorni in cui si sono avuti picchi anche di 16,5°C. Alla luce di quanto detto, l'inizio del 2007 si è rivelato termicamente al di sopra delle aspettative e ciò ha continuato ad influenzare le attività biologiche delle colture.



**Figura 4.1.6** – Andamento termico delle temperature minime e massime giornaliere del 2007 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007 dal 1 gennaio al 23 febbraio

Per ottenere un quadro termico completo andiamo a confrontare l'andamento termico storico dal 1952 ad oggi con i valori medi di tutte le temperature medie giornaliere degli oltre 4 anni di sperimentazione fenologica (dal 2003 al 2007). In figura 4.1.7 si nota che il periodo tra la seconda metà di febbraio e la prima decade di marzo i valori delle temperature degli ultimi 4 anni sono piuttosto basse, con valori anche di 3-4 °C inferiori rispetto agli standard. Risalendo gli andamenti si sovrappongono in maniera abbastanza continuativa manifestando una certa coerenza termica fino ad i mesi estivi. Infatti è proprio nei mesi di giugno e gran parte del mese di luglio che le temperature medie degli ultimi 4 anni evidenziano un certo incremento termico piuttosto continuativo. Tali condizioni condizionano fortemente le colture macroterme come il mais in quei periodi tipicamente in piena fase di fioritura e maturazione cerosa.



**Figura 4.1.7** – Andamento termico annuo delle temperature medie giornaliere del 2003 e delle medie delle temperature medie dal '52 al 2007

Questo quadro termico estivo dovrà far molto riflettere le aziende agrarie soprattutto nel contesto di un cambiamento climatico che sta sempre più condizionando lo sviluppo delle colture che tendono ad abbreviare, soprattutto le macroterme, il proprio ciclo biologico.

## **4.2 Frumento duro**

### **4.2.1 Risultati e descrizione fenologica**

Lo studio del frumento duro è stato effettuato mettendo in relazione le condizioni climatiche dei 3 anni di studio, compresa la parte dell'annata in atto e gli stadi fenologici principali che sono stati classificati mediante la scala fenologica internazionale BBCH, accostati a documentazioni fotografiche e razionalizzati in quadri grafici; ciò in modo da ottenere un panorama d'analisi e di confronto il più possibile chiaro ed omogeneo.

La varietà seminata durante il periodo di sperimentazione è il "Duilio", seconda varietà più coltivata in Europa. Costituisce tutt'oggi per i produttori agricoli un importante punto di riferimento nel panorama dei frumenti duri coltivati.

Alla base di un apprezzamento costante e continuo sono un potenziale produttivo e una adattabilità di assoluta eccellenza.

Duilio è infatti capace di massimizzare le rese anche nelle condizioni più difficili, grazie ad un ciclo piuttosto precoce e una notevole tolleranza alle principali avversità biotiche e abiotiche.

In tal senso risulta quindi di assoluta eccellenza la stabilità produttiva di questo genotipo che in virtù delle sue ottime caratteristiche agronomiche si conferma ai vertici produttivi in tutti i principali areali di coltivazione.

Va inoltre sottolineato che Duilio è in grado di fornire partite di granella di elevato valore merceologico (si pensi in tal senso al peso specifico delle cariossidi); a questa caratteristica va aggiunta la notevole capacità di accumulo di proteine, caratteristica basilare per definire l'attitudine alla pastificazione di un frumento duro, motivi per cui la varietà è apprezzata, oltre che dai produttori agricoli, anche dall'industria di trasformazione.

In conclusione, il peculiare equilibrio tra pregi di carattere agronomico e caratteristiche qualitative di Duilio, riconosciute ed apprezzate dai cerealicoltori di tutto l'areale del Bacino Mediterraneo, stanno alla base di un successo che continua nel tempo (sisonweb\_duro).

Per realizzare un'attenta analisi dello sviluppo di questa importante varietà di grano duro nei 3 anni e mezzo di sperimentazione è quindi utile ricavare le date nei diversi anni in cui le fasi più importanti si presentano.

Analizzando lo sviluppo fenologico del frumento negli anni 2003/04, 2004/05 e 2005/06 ci si proietta direttamente nella fase chiave della fioritura, momento in cui le condizioni meteorologiche

hanno un ruolo fondamentale per il buon esito della fecondazione e quindi per la formazione o meno delle cariossidi.

Individuando il 65 la piena fioritura (fig.4.11) in cui si ha la fuoriuscita di oltre il 50% delle antere dalle spighe, prima a partire dalla parte mediana della spiga per poi coinvolgere tutte le altre dalle basali alle più acrotone.

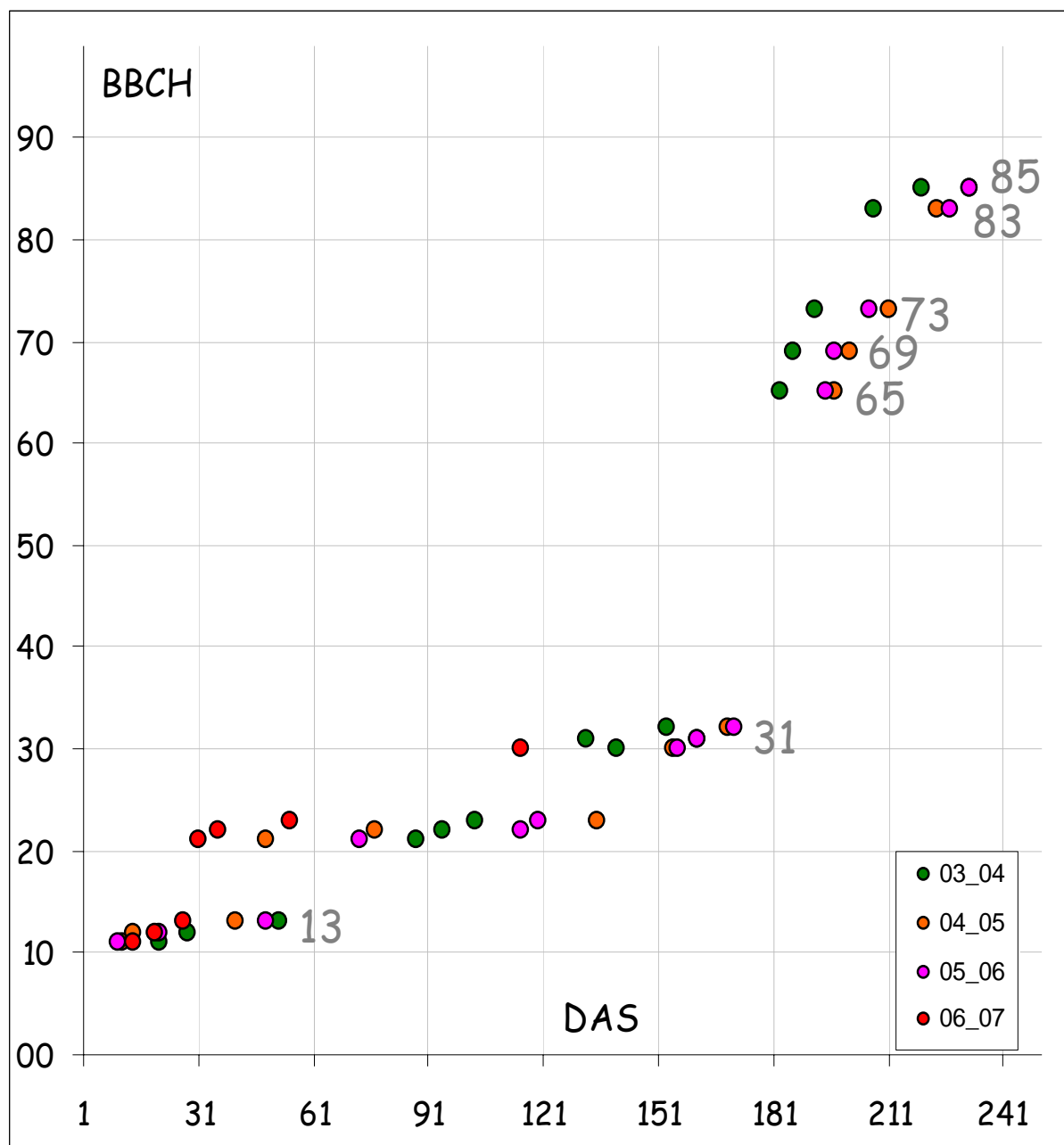


**Figura 4.11** - Fase BBCH 65: piena fioritura in cui oltre il 50% delle antere è fuoriuscita dalle spighe

Dall'esame degli stadi fenologici che ci porteranno alla maturazione fisiologica già è possibile notare in fig.4.12 che le differenti annate agrarie si comportano mantenendo all'incirca gli stessi *gap* in termini di tempo impiegato.

La fase 65 quindi di piena fioritura avviene a 183 giorni dalla semina contro i 195 e 196 degli altri anni.

Anche nella fine della fioritura, BBCH 69, in cui è già avvenuta la fecondazione e le antere si disidratano, le distanze tra i tre anni si mantengono più o meno le stesse: 186 giorni dalla semina nel 2004 e 198 e 201 rispettivamente nel 2005 e 2006.



**Figura 4.12** - Schema di sviluppo fenologico generale dalla fase BBCH 13 alla BBCH 85

Stessa prospettiva nel raggiungimento della fase BBCH 73 (fig.4.13), di inizio maturazione latte, in cui si ha il riempimento delle cariossidi non ancora completamente formatesi.

Questa fase (fig.4.12) viene raggiunta sempre in anticipo nel 2004 l'11 di maggio, mentre le altre dopo 9 giorni nel 2005 e dopo 11, il 22 di maggio nel 2006.





**Figura 4.13** - Fase BBCH 73: inizio della maturazione lattea, in cui le cariossidi in fase di *grain filling* non hanno ancora raggiunto la dimensione finale e presentano un contenuto lattiginoso.

Le fasi BBCH 83 e 85 rappresentano la macrofase di maturazione cerosa. La BBCH 83 mostra l'inizio della maturazione cerosa, ovvero il passaggio da un contenuto lattiginoso della cariosside, tipico della maturazione lattea precedente, ad un contenuto pastoso



**Figura 4.14** - Fase BBCH 83: inizio della maturazione cerosa in cui il contenuto delle cariossidi diventa pastoso

Questa fase nel 2004 avviene precocemente l'8 di giugno dopo 207 giorni dalla semina, mentre intorno al 12 e 13 di giugno nel 2005 e 2006 a ben 227 e 228 giorni dalla semina.



**Figura 4.15** - Fase BBCH 85: metà maturazione cerosa o maturazione fisiologica del frumento; la pasta delle cariossidi è ancora morbida, ma ormai secca (umidità intorno al 20%). Incidendole con un'unghia, non rimane alcuna impronta.

L'ultima fase analizzata dal punto di vista fenologico risulta essere la maturazione fisiologica delle cariossidi, che coincide con la maturazione cerosa medio-avanzata con traduzione in scala BBCH pari a 85. Il 21 giugno del 2004 il frumento duro appare in piena maturazione fisiologica, stadio raggiunto dopo circa 220 giorni dalla semina.

Tale fase fenologica viene osservata dopo lo stesso numero di giorni dalla semina, 232, nelle annate successive, rispettivamente il 16 giugno nel 2005 ed il 20 giugno nel 2006. Il passaggio tra l'inizio della maturazione cerosa e la maturazione fisiologica è risultato essere molto rapido negli anni 2005 e 2006. Sin qui è stata effettuata una approfondita analisi delle più importanti fasi fenologiche del frumento duro, cercando di mettere in luce gli aspetti fenologici di crescita della coltura e l'influenza che ha avuto il clima nei determinanti.

#### **4.2.1 Modello delle somme termiche mediante gradigiorno**

Sino ad ora ci siamo serviti delle osservazioni fenologiche in campo, metodo di rilievo che sfruttando delle precise chiavi di lettura ci ha condotto ai risultati graficamente commentati.

Per la complessità dell'argomento fenologico potrebbero risultare nel commento dei dati ottenuti, alcuni errori di interpretazione delle fasi. Per cercare di dare un punto di vista ancora più analitico è

utile prendere in considerazione dei modelli di simulazione di crescita attraverso i quali sarà possibile verificare e implementare l'interpretazione dei dati.

A tal ragione può essere valutato l'utilizzo del modello delle sommatorie termiche. Come già detto stabilita una temperatura di soglia al sotto della quale la coltura rimane biologicamente ferma, può essere calcolata la cumulata termica, la quale sarà in funzione dello sviluppo fenologico della coltura stessa. Attraverso uno studio condotto presso la Humboldt Universität di Berlino sulle temperature di soglia nei cereali, sulla base di 22 anni di dati sperimentali, è stata avvalsa la tesi dell'utilizzo per di una soglia termica di 0°C per i cereali vernini, al di sotto della quale la pianta ferma le proprie funzioni di crescita.

Seppure il modello della somma termica di tipo lineare, si scosti solo di alcune decine di gradi utili nei risultati finali di maturazione fisiologica, è stato preferito utilizzare la somma termica accumulata mediante l'approssimazione del triangolo, in quanto si riesce a delimitare un *range* ben preciso nel quale la pianta riesce a sfruttare a pieno le condizioni termiche, risultando pertanto un metodo più accurato (cap. 1). In tabella 4.2 sono riportati tutti i valori di cumulate termiche calcolati mediante la formula del triangolo. Ciascuno dei valori rappresenta l'accumulo di energia termica da parte della coltura per ognuna delle fasi fenologiche analizzate ed in ogni singolo anno di sperimentazione. Tali quantità termiche vengono ulteriormente confrontate con la colonna dei valori termici medi calcolati sulla base delle temperature medie degli ultimi 4 anni (°D average).

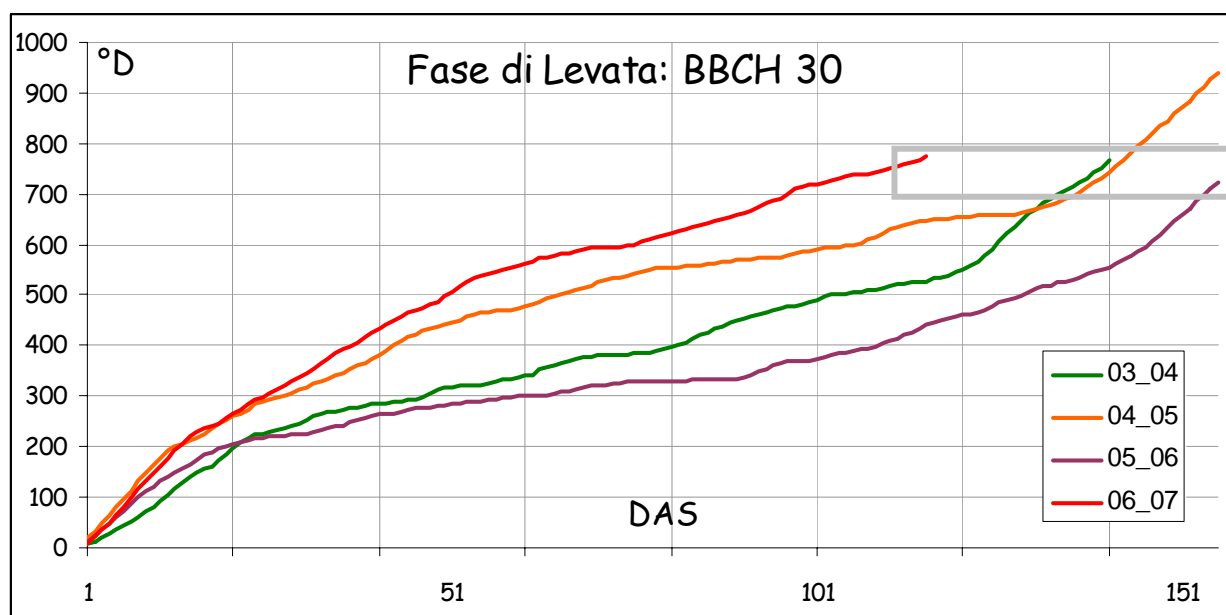
03_04	04_05	05_06	06_07	BBCH	°D- average	°D- 03_04	°D- 04_05	°D- 05_06	°D- 06_07
0	0	0	0	00	0	0	0	0	0
21	11	10	14	11	188,0	207,5	191,0	133,0	220,4
28	14	21	20	12	231,7	242,0	210,9	209,4	264,7
52	41	49	27	13	329,0	320,9	391,3	282,6	321,0
88	49	73	31	21	391,6	443,8	442,1	326,4	354,2
95	77	115	36	22	466,3	474,3	550,6	441,0	399,3
103	135	120	55	23	549,3	502,2	691,5	460,2	543,4
140	155	156	115	30	<u>803,7</u>	<u>765,3</u>	<u>941,7</u>	<u>732,6</u>	<u>775,3</u>
132	161	161		31	866,0	819,8	997,1	780,9	
153	169	171		32	966,5	908,3	1086,5	904,7	
183	197	195		65	1376,9	1348,6	1510,8	1271,3	
186	201	197		69	1427,0	1399,3	1575,2	1306,4	
192	211	206		73	1585,1	1511,7	1759,3	1484,2	
207	224	227		83	1884,3	1781,2	2031,7	1840,1	
220	232	232		85	2031,6	1955,3	2180,9	1958,5	

**Tabella 4.2** - Tabella in cui vengono evidenziate le cumulate termiche in relazione alle fasi fenologiche

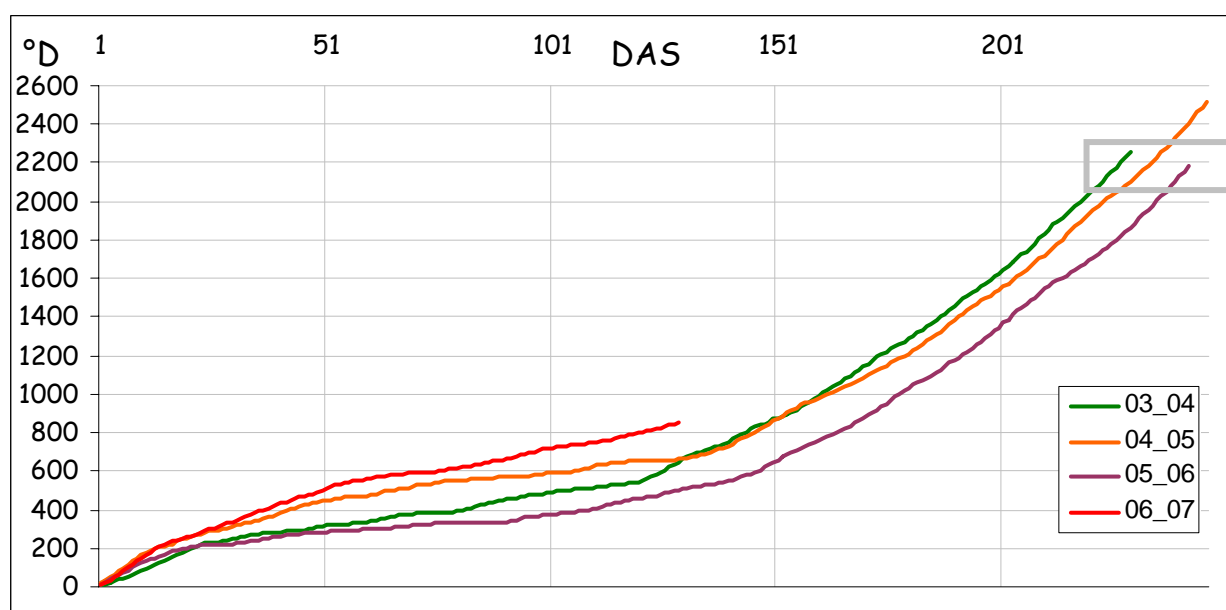
Servendosi della formula dell'approssimazione del triangolo sono state calcolate le somme termiche nelle 4 annate agrarie fino al giorno in cui è stata osservata in campo la fase fenologica della levata

BBCH 30 (fig. 4.16). Dalla tabella e dal grafico della figura 4.16 è evidente come il 2006/07 sia un periodo particolarmente caldo e tale fase viene raggiunta dopo soli 115 giorni dalla semina come già visto nelle analisi precedenti, con una quota termica di 775,3 °D.

Anche nel 2003/04 e nel 2005/2006 la fase BBCH 30 è stata acquisita con un tetto termico oscillante tra i 765,3 e 732,6 °D, valori molto vicini tra loro. Quindi è palese, nel grafico in figura 4.16 come tutti gli andamenti finiscano nel *range* compreso tra le 700 e le 800 °D a differenza del 2004/05 in cui tale stadio è stato raggiunto ad oltre 900 °D.



**Figura 4.16** - Distribuzioni termiche cumulate nei diversi anni fino alla fase di levata BBCH 30.



**Figura 4.17** - Distribuzioni termiche cumulate nei diversi anni fino alla fase di maturazione commerciale di raccolta.

Allargando l'analisi termica alla momento della raccolta e quindi della maturazione commerciale, si nota (fig. 4.17) come sia nel 2003/04 che nel 2005/06 l'accumulo termico corrispondente avvenga

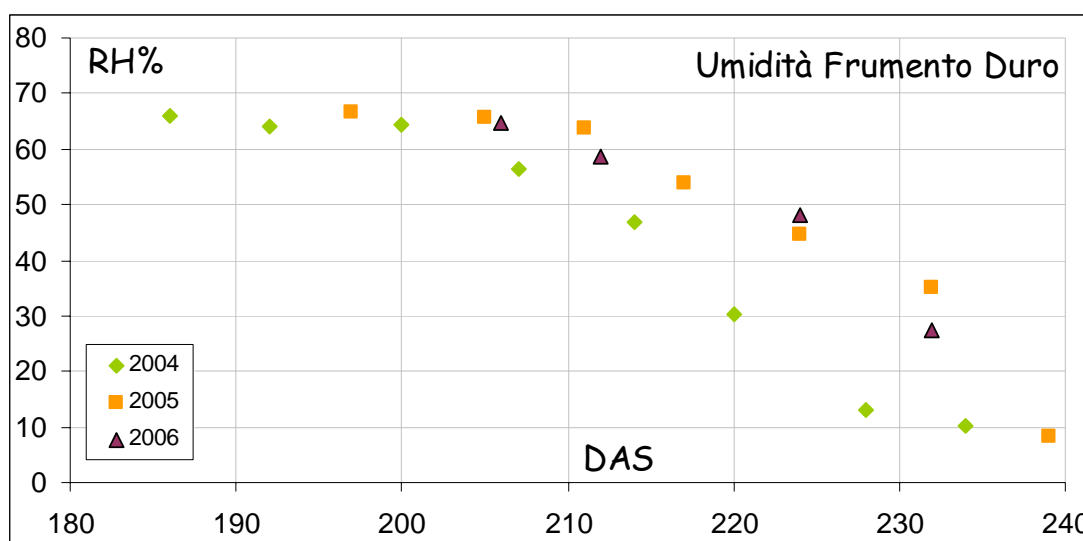


al ridosso delle 2200 °D, mentre il 2004/05 continua la sua ascesa termica fino ad un valore di oltre 2500 °D. Quindi il *gap* termico rilevato nel raggiungimento della fase di levata, si protrae fino alla fase di maturazione finale determinando una differenza termica imputabile forse ai dei blocchi climatici, dovuti a stress non dovuti soltanto all'elemento del clima della temperatura. Dall'archivio dei *report* fenologici in *access*, risulta infatti che nel 2005 tra febbraio e la prima metà di marzo le colture hanno stazionato per lunghi periodi, anche per più di 2 settimane, al di sotto del manto nevoso, condizione che ha evidentemente coibentato la coltura del frumento nonostante le temperature dell'aria si siano manifestate al di sopra di 0°C.

#### 4.2.2 Risultati dei rilievi biometrici

##### *Analisi in itinere*

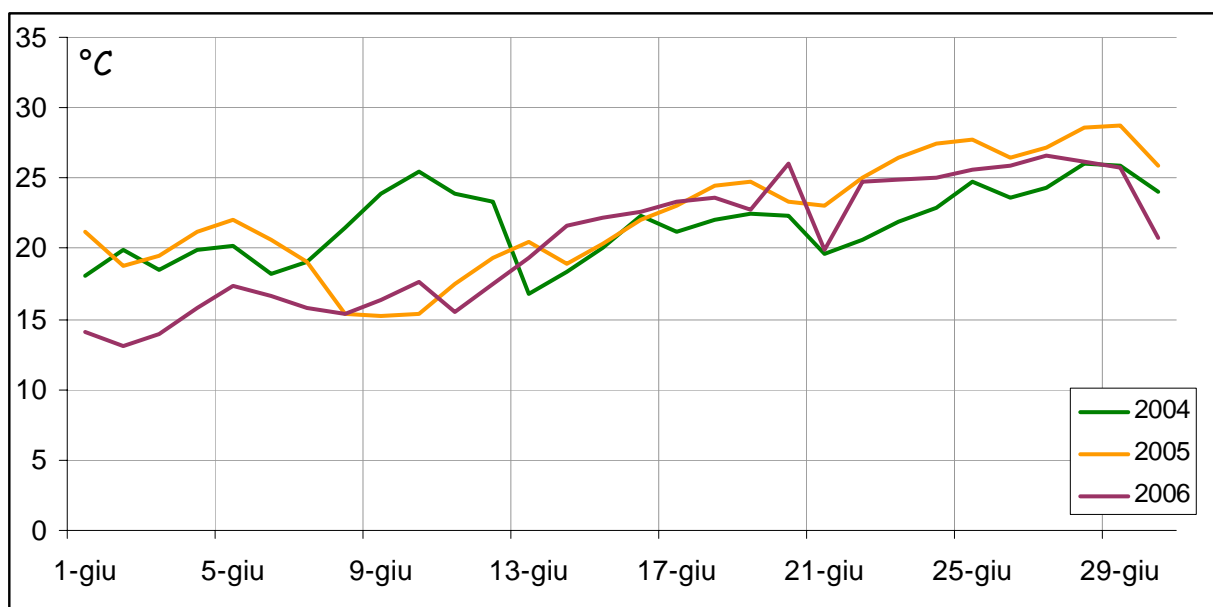
A partire dalla fase di riempimento delle cariossidi BBCH 71, sono state condotte su 10 spighe di frumento duro dei rilievi biometrici per calcolare l'umidità della granella. Vengono prelevate 10 spighe dalla parcella della coltura e calcolato il peso fresco delle stesse in laboratorio. Successivamente le 10 spighe, dopo essere state pesate, vengono riposte in stufa alla temperatura di 105°C per circa 24 ore. All'uscita, esse saranno state sottratte della quantità d'acqua calcolata nel peso fresco. Dopo aver pesato nuovamente le 10 spighe disidratate, ricaviamo il peso secco netto; sottraendo a tale valore quello fresco ottengo il valore dell'acqua che era presente all'interno delle cariossidi, delle glume e delle reste, in altre parole ottengo il valore dell'umidità. Per avere un quadro di comparazione tra le 3 colture di frumento duro nelle 3 diverse annate agrarie, oltre che relazionare lo sviluppo delle differenti fasi fenologiche, è possibile vedere come varia l'umidità delle spighe nei 3 differenti andamenti climatici.



**Figura 4.18** - Grafico dei valori di umidità raggiunti dalle dieci spighe di grano nei 3 anni prima della raccolta

Considerando il grafico in figura 4.18 si nota come si distribuiscono i valori di umidità degli anni 2004, 2005 e 2006 in funzione dei giorni dalla semina, che per comodità visiva, abbiamo fatto

iniziare con il valore 180, giorno dell'anno in cui in tutte e tre le campagne sperimentali è sicuramente iniziata la fase del riempimento delle cariossidi. E' evidente come i valori in verde di umidità registrati nel 2004, traccino un andamento sempre al di sotto degli altri dati sul grafico, questo delinea una perdita di umidità in campo molto più accelerata che nelle altre annate. I quadrati arancioni (2005) ed i triangoli in viola (2006), risultano invece molto più vicini, da ciò si deduce che il periodo compreso tra la fine del mese di maggio e l'intero mese di giugno è risultato essere piuttosto mite se paragonato allo stesso lasso di tempo del 2004 in cui i valori di umidità risultavano sempre molto bassi, con un valore intorno al 13% nel giorno 29 di giugno.



**Figura 4.19** - Andamenti termici del 2004, 2005 e 2006 nel mese di giugno

Più nel dettaglio, attraverso l'elaborazione dei dati meteorologici del mese di giugno dei tre anni a confronto (fig. 4.19), si mette in luce il fatto che i valori medi delle temperature nel 2004 non sono sempre stati al di sopra dei valori del 2005 e del 2006, ma che l'abbassamento di umidità più repentino sia dovuto alle temperature registrate tra il 7 ed il 13 di giugno. Infatti dal grafico si deduce che è in quel periodo che i valori si sono mostrati nel 2004 più elevati anche di 8-10 °C rispetto gli altri anni, differenze termiche che hanno fatto precipitare le umidità nelle cariossidi del frumento e favorito la fase di maturazione cerosa. Alle prove di umidità, effettuate durante il ciclo biologico della pianta, sono seguite in fase di raccolta delle più complesse valutazioni delle piante campione.

### ***Analisi in epoca di raccolta***

Nella tabella sottostante (tab. 4.3) sono riportati i principali valori medi biometrici riscontrati nelle tre differenti annate di sperimentazione.

Rilievi Biometrici Finali Frumento Duro											
Epoca	Investimento	h (cm)	N°	pFn (g)	pSn (g)	pFn (g)	pFn (g)	pSn (g)	RH%	Resa (t/ha)	peso hl (Kg/hl)
raccolta	unità pte × m2	culmo principale	spighe	fusto	fusto	spighe	granella	granella	granella	granella	granella
2004	491	83,90	2,90	4,26	3,90	6,47	4,95	4,42	10,76	5,31	83,1
2005	644	80,50	1,80	2,00	1,80	2,77	2,20	1,97	10,39	7,87	64,8
2006	371	83,30	2,90	6,54	4,41	8,37	6,95	6,16	11,38	8,34	80,0
media	502	82,57	2,53	4,26	3,37	5,87	4,70	4,18	10,84	7,17	76,0

**Tabella 4.3** - Scheda riassuntiva delle grandezze biometriche analizzate durante i 3 anni di sperimentazione

Nell'estate del 2004, alla chiusura dell'annata agraria 2003/04, il frumento duro è stato raccolto ad un'umidità del 10,76%, ben al di sotto del 13% commerciale.

Con questa umidità è stata calcolata una resa pari 5,31 t/ha, una quantità discreta per dei terreni fertili come quelli tipici dell'Emilia.

Il peso ettolitrico (hl o PS) della granella è risultato ottimo, ciò dimostra l'alta qualità del riempimento delle cariossidi e sta a dimostrare che non ci sono state delle alternanze fisiologiche durante le fasi di maturazione latte e cerosa. Risulta poi che le piante, con un'altezza media di circa 83 cm, hanno avuto una buona percentuale di investimento con quasi 500 piante per m<sup>2</sup> e che le spighe portate a termine di maturazione sono state in media in numero di 3.



**Figura 4.20** - Fase BBCH 99 di raccolta in cui vengono effettuate tutte le rilevazioni biometriche finali sulla pianta intera e sulle cariossidi

Il 2005 si distingue dal 2004 per gli altissimi valori d'investimento fino a 644 piante per m<sup>2</sup> non ripagati però dal numero di spighe portate a maturazione per pianta (media di 1,8), ciò non ha però limitato l'elevata resa produttiva realizzata con una media di 7,87 t/ha.

Nel 2006 si è avuta la miglior resa in assoluto con 8,34 t/ha, valore coadiuvato da una buona ripresa del peso ettolitrico, molto basso nel 2005 ed un ritorno di quasi tre spighe per pianta.

Nell'annata agraria 2005/06 con un investimento discreto di circa 370 piante per m<sup>2</sup> si mette in risalto la teoria del giusto equilibrio, in cui evidentemente le condizioni climatiche, la buona resistenza ad avversità sia biotiche che abiotiche e le maggiori opportunità da parte della pianta a sfruttare la propria nicchia ecofisiologica, dovuta ad una giusta percentuale d'investimento, hanno favorito la produzione di un prodotto altamente competitivo.

#### 4.2.3 Le atipiche condizioni climatiche dell'inverno 2007: la risposta fenologica del frumento

Inserendo i dati meteorologici e fenologici dell'annata agraria in corso, registrati fino al 23 febbraio 2007, si rivela di grande interesse lo studio del comportamento fenologico del grano duro.

Infatti ancor più che negli altri cereali il suo sviluppo nei primi 2 mesi dell'anno, si è trovato ad essere influenzato dall'atipicità delle condizioni climatiche in atto.

Le epoche di semina come riportato nella tabella 4.1 sono state differenti, abbastanza ritardata il 14 novembre del 2003 e piuttosto in linea negli ultimi anni, in cui si è cercato di anticipare leggermente; nel 2006 infatti è stata rispettata un'antica usanza della semina nel giorno di San Luca, il 18 ottobre.

<i>Semina</i>	<i>Frumento Duro</i>
<b>2003</b>	14 novembre
<b>2004</b>	27 ottobre
<b>2005</b>	31 ottobre
<b>2006</b>	18 ottobre

**Tabella 4.1** - Epoche di semina del frumento duro

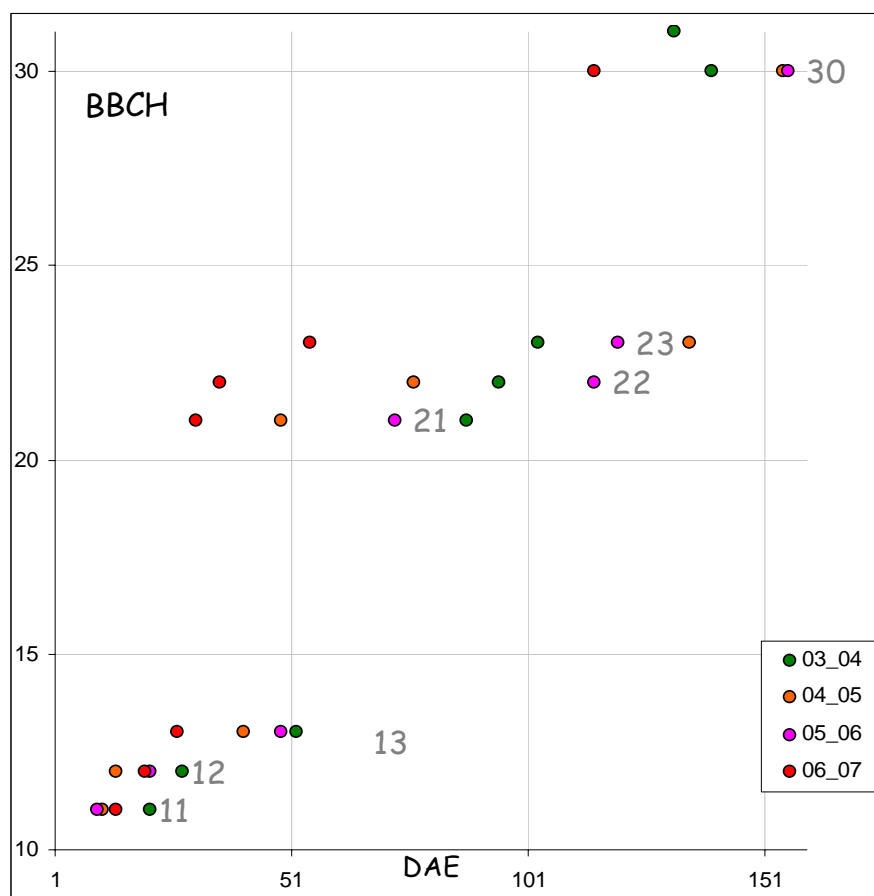
Nel grafico in figura 4.1 si mette in relazione lo sviluppo fenologico di tale coltura a partire dall'emergenza (BBCH 10) all'inizio della levata (BBCH 30) con il numero di giorni trascorsi DAE (*days after emergence*) per il raggiungimento degli stessi stadi di crescita.

In verde è rappresentata l'annata agraria 2003/04, in arancione il 2004/05, in rosa il 2005/06 ed in rosso l'annata agraria attuale 2006/07.

Attraverso questo grafico è possibile relazionare i tempi di crescita dei primi 3 anni di sperimentazione con le attuali anomalie climatiche dell'annata agraria corrente fino al 23 di febbraio. Ovviando analisi comparative nella fase di fuoriuscita delle foglie (BBCH 11, 12..etc.), in cui le differenti date di semina influenzano certamente la velocità con cui si manifestano le fasi



secondarie di tale fase fenologica (il numero delle foglie), notiamo come invece il clima giochi un ruolo essenziale negli stadi di formazione degli accestimenti e di levata del culmo principale.



**Figura 4.1** - Grafico di dispersione delle date di sviluppo fenologico dall'emergenza alla levata nel grano duro

Mentre nella prima fase i *gap* fenologici sono imputabili alle differenti epoche di semina, nella fase di accestimento (fig. 4.2), la componente climatica delle differenti annate incide notevolmente.



**Figura 4.2** - Fase BBCH 22: fase fenologica di accestimento in cui la coltura presenta, oltre il fusticino principale, 1 o più culmi secondari

Già nello stadio BBCH 21, di formazione del primo culmo secondario avviene in periodi molto lontani se paragoniamo lo stesso frumento duro nel 2003/04 e nel 2006/07.

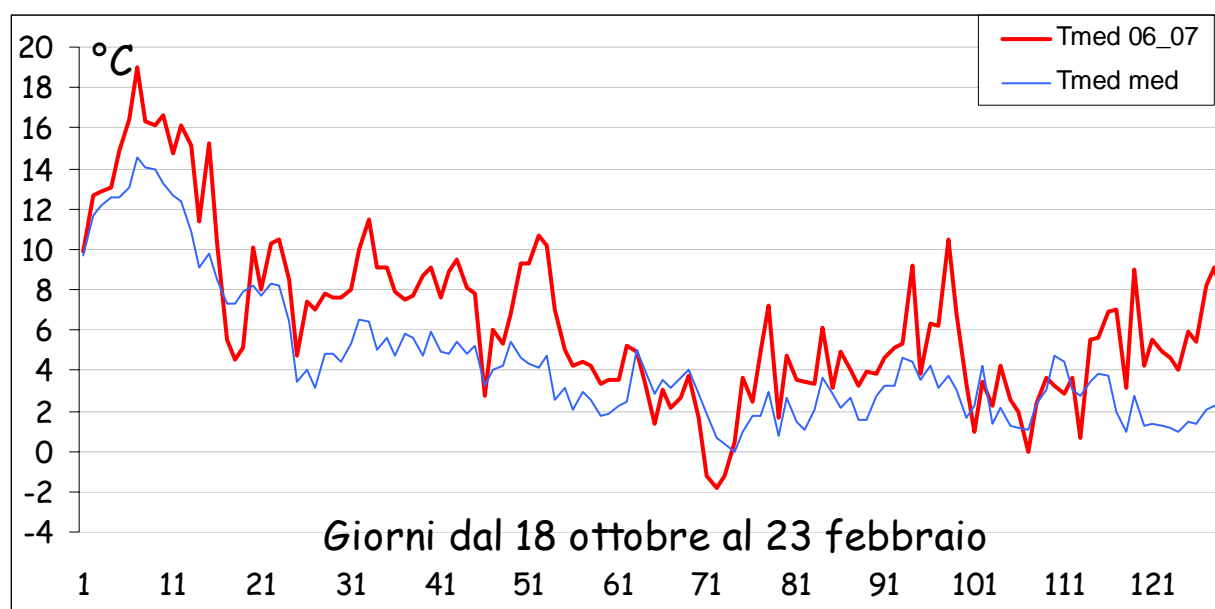
Infatti nel recente 2006/07 tale fase viene osservata dopo soli 31 giorni dalla semina, il 18 di novembre, mentre per rilevare tale stadio nella prima annata di sperimentazione dobbiamo aspettare il 3 di febbraio, dopo 81 giorni dalla semina.

Ciò che maggiormente colpisce è come questa differenza cresca anche in relazione alle altre annate agrarie; osservando la formazione del terzo culmo di accestimento ne risulta che durante il periodo in corso si manifesta il 12 di dicembre, evento ben più lontano se comparato all'opposta annata del 2005 in cui tale stadio è apparso addirittura l'11 di marzo.

Durante tale stadio di crescita, in cui ogni culmo continua ad emettere nuove foglie, la pianta accumula una grande quantità di sostanze nutritive e si presenta con un aspetto cespitoso, con portamento delle foglie semierette (Baldoni et al., 1989)

Lo sviluppo di tali culmi in seguito tende a sincronizzarsi, fino a che, con temperature più elevate, uno od alcuni di essi cominciano ad estendersi verso l'alto.

Confrontando le temperature medie dell'aria registrate a Cadriano nel 2007 con i valori medi delle temperature dei quattro anni di sperimentazione precedenti (fig. 4.3), si nota dal grafico – come l'andamento in rosso (2006/07) sia quasi sempre al di sopra dei valori medi tracciati in azzurro.

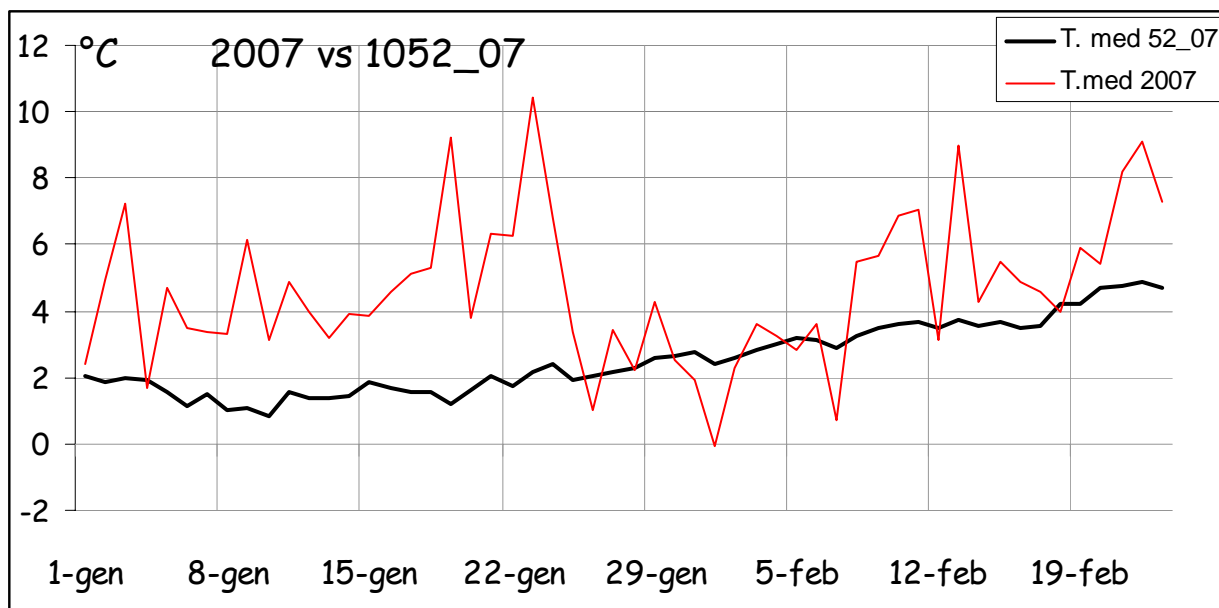


**Figura 4.3** - Andamento delle temperature medie dell'annata 2006/07 in relazione a quelle degli ultimi 4 anni

Per facilitare l'interpretazione dei dati si è deciso di visualizzare gli andamenti a partire dal 18 ottobre, data in cui si è avuta la semina più anticipata. Dal grafico si deduce come soprattutto nei mesi di gennaio e febbraio (dal 71 al 130), normalmente i più freddi dell'anno, le temperature medie si sono dimostrate sempre molto al di sopra dei valori medi registrati negli ultimi 4 anni.

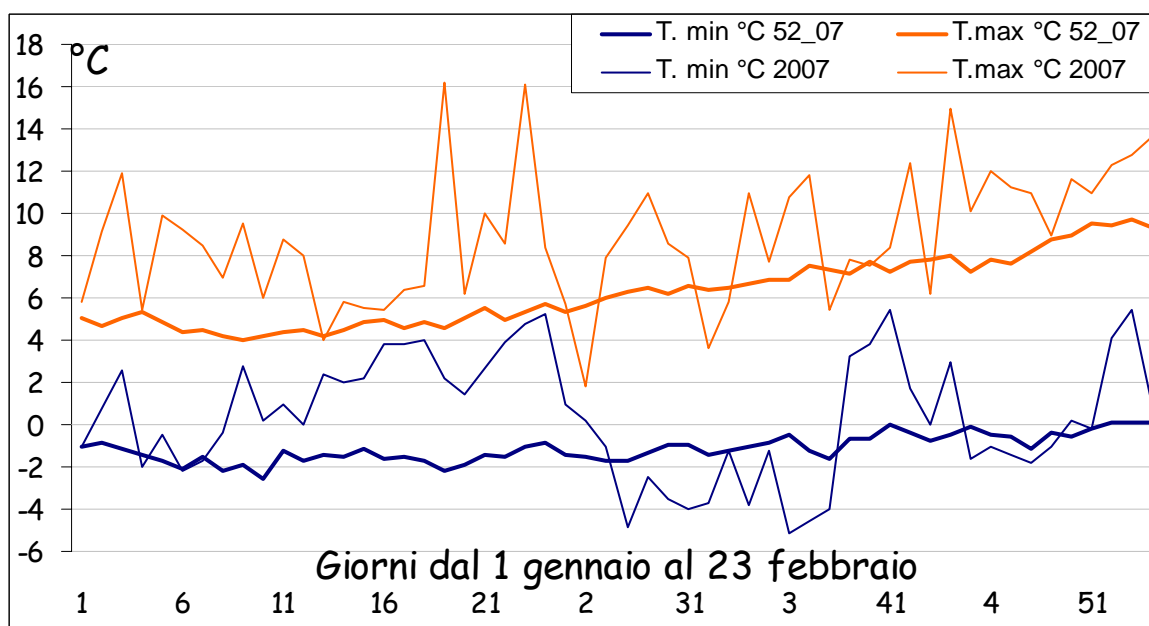
Prendendo in esame i primi mesi dell'anno del 2007 (fig.4.4) e confrontando i dati con quelli ricavati da una media degli ultimi 55 anni registrati meccanicamente nella stazione meteorologica di Cadriano, risulta ancor più evidente il *gap* di temperatura.

Si nota come soprattutto in gennaio le temperature medie dell'anno corrente siano nettamente al di sopra dei valori storici. I picchi del 19 di gennaio di 9,2°C e di 10,5°C registrati il 23 dello stesso mese, dimostrano come l'anomalia climatica ci prospetti soprattutto per tutto il mese di gennaio e dalla seconda metà di quello di febbraio delle condizioni quasi primaverili.



**Figura 4.4** - Andamento delle temperature medie di gennaio-febbraio del 2007 in relazione ai valori medi degli ultimi 55 anni

Per avere un quadro termico più chiaro è anche utile capire il comportamento delle massime rispetto alle minime e viceversa.



**Figura-4.5** Andamento delle temperature massime e minime di gennaio-febbraio del 2007 in relazione ai valori storici corrispettivi degli ultimi 55 anni

In figura 4.5 vengono evidenziati gli andamenti delle temperature massime e minime dei primi due mesi dell'anno del 2007 e confrontati con i valori della media storica corrispondente.

Da un'attenta analisi risulta che nel mese di gennaio sia le massime che le minime concorrono all'innalzamento delle temperature medie. I valori minimi si mantengono per un periodo consecutivo di quasi 20 giorni, anche fino a 6°C al di sopra dei valori *standard* (il 24 gennaio 5,2°C contro -0,8°C).

Tra la fine di gennaio e la prima settimana di febbraio si assiste ad un'inversione di tendenza in cui le temperature minime del 2007 si mostrano al di sotto, anche -4°C, dei valori *standard*.

La rimanente parte dell'andamento riprende la tendenza anomala già delineata nel mese di gennaio. Considerazione speciale la acquistano le temperature massime, che eccetto in 3 giorni, nei 54 giorni in esame, presentano valori sempre eccezionalmente al di sopra dei valori massimi medi del periodo storico.

Le quantità termiche raggiunte sono sempre ampiamente al di sopra degli *standard*, distaccandosi anche di circa 10-11°C nei giorni del 19 e 23 gennaio, giorni in cui si sono avuti picchi anche di 16,5°C. Alla luce di quanto detto, l'inizio del 2007 si è rivelato termicamente al di sopra delle aspettative e ciò ha continuato ad influenzare le attività biologiche delle colture.

Come prima detto queste particolari condizioni meteorologiche associate anche ad un'assenza pressoché totale di precipitazioni nei mesi di gennaio e febbraio, innescano durante e dopo la formazione degli accestimenti, una interfase fenologica molto lunga rispetto agli anni precedenti, in cui l'erezione dei culmi ed il loro allungamento avveniva più come un'esplosione vegetativa.

In questo anno l'abbreviazione dei passaggi fenologici precedenti (emergenza ed emissione delle foglie) e l'innescio di questa fase di transizione più o meno lunga, in cui la pianta blocca la formazione di culmi secondari, preparandosi alla fase di allungamento del fusto principale (levata) ha prodotto dei risultati alquanto inaspettati.

Infatti se nell'orzo e nell'avena la formazione di culmi secondari ha continuato a favorire l'aspetto cespitoso della coltura, perché soprattutto legati al fotoperiodo, nei frumenti, soprattutto nel duro, avviene il fenomeno contrario.

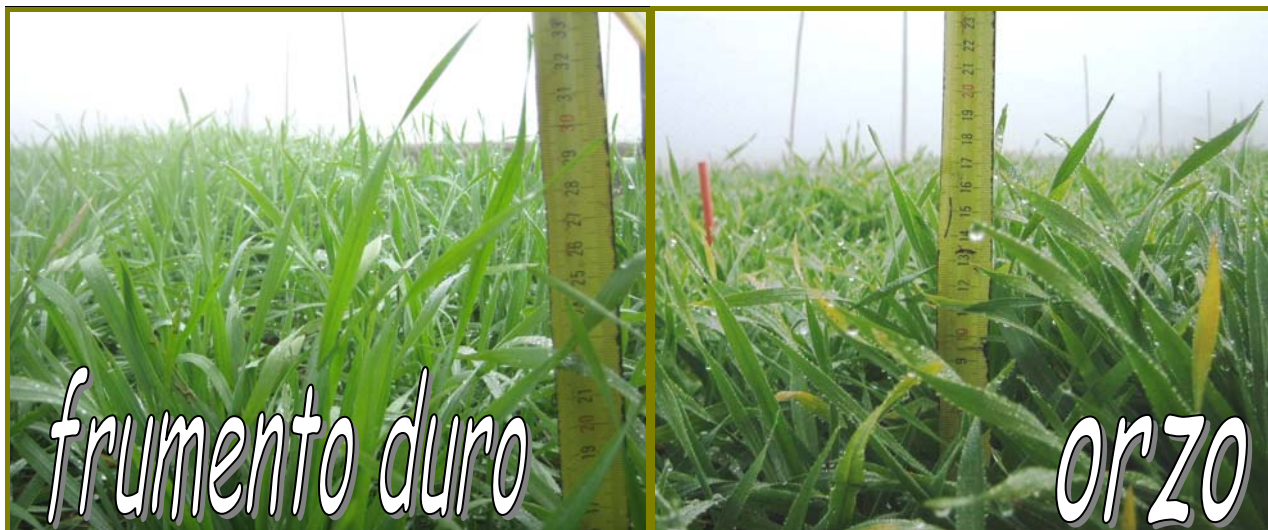
La coltura del frumento duro nel 2007, rispetto ai rilievi precedenti, già intorno alla metà di gennaio, in cui presentava dai 3 ai 4 culmi secondari, durante la terza decade di gennaio evidenzia un accestimento secondario in meno (fig. 4.6). Le condizioni climatiche del periodo, più nello specifico le elevate temperature, hanno influenzato fortemente la fillotassi della pianta; infatti nel frumento duro già dopo soli 70-80 giorni dalla semina, in tali condizioni termiche, si stava

delineando una struttura morfologica in cui il culmo principale spiccava notevolmente rispetto agli altri ancora evidentemente prostrati.



**Figura 4.6** - Particolare di accestimento in fase di ingiallimento

Risulta quindi palese la differenza in altezza con la coltura di avena (fig. 4.7), infatti mentre l'orzo dall'aspetto fortemente cespitoso non superava i 17-18 cm in altezza, la foglia più distale del culmo principale del frumento duro arrivava a circa 32-34 cm dal suolo.

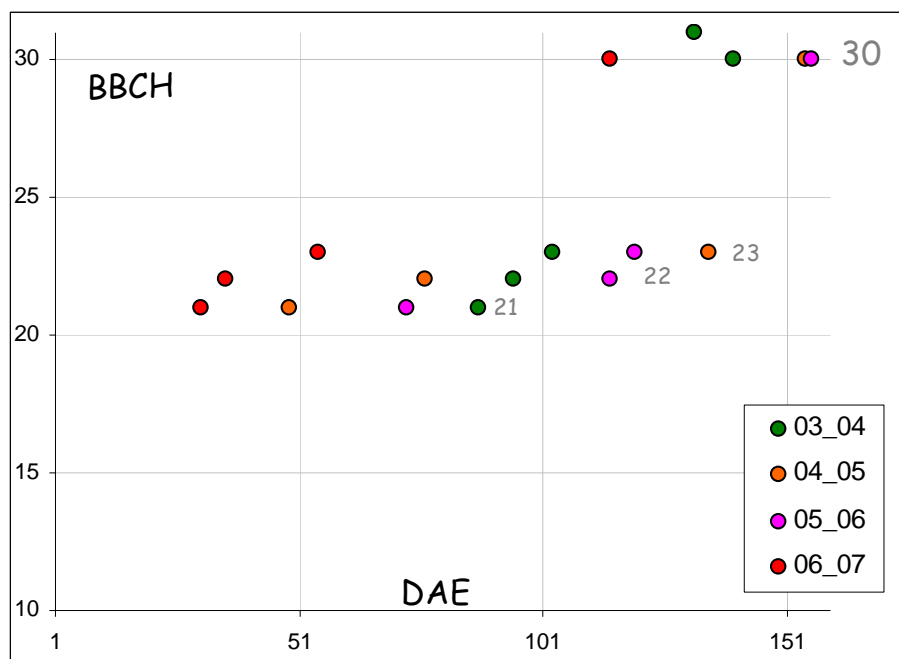


**Figura 4.7** - Immagini che indicano lo sviluppo verso l'alto del frumento contro l'aspetto prostrato dell'orzo

La fine del mese di gennaio e l'inizio di febbraio (fig. 4.4) presenta dei valori minimi leggermente al di sotto degli *standard* anche se, con valori medi ancora al di sopra delle temperature attese.

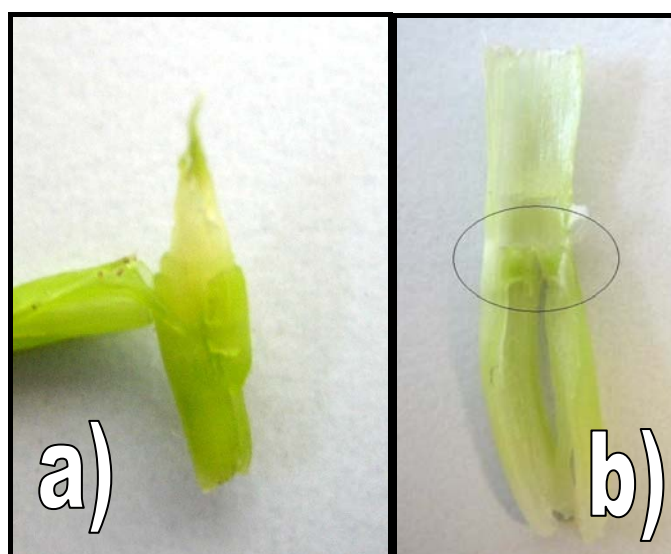
A cavallo tra gennaio e febbraio 2007, con temperature piuttosto basse la notte e ancora alte durante il giorno, si continua a favorire la sopra citata fase di transizione, nella quale il frumento reagisce più fisiologicamente che morfologicamente, preparando così “in gran segreto” la fase fenologica successiva.

Tale espressione è giustificata dal fatto che per vedere evidentemente la fase di levata dovremo aspettare ancora due settimane dalla fine di gennaio (fig. 4.10), anche se la futura spighetta è già in formazione da tempo. Il particolare andamento di crescita del frumento del 2007 è facilmente interpretabile confrontando il raggiungimento della fase di allungamento del fusto principale BBCH 30 con le altre annate agrarie (fig. 4.8).



**Figura 4.8** - Quadro in cui si individuano la fase di levata durante le 4 annate agrarie

Quindi la fase BBCH 30 nel 2007 già possibile da intravedere anche ad occhio nudo dalla fine di gennaio in un'embrionale spighetta (fig. 4.9 a) al di sopra di un abbozzato nodo basale (fig. 4.9 b), viene a manifestarsi a pieno (fig. 4.10) dopo 115 giorni dalla semina il 19 febbraio (pallino rosso allineato con la riga 30 in fig. 4.8) .



**Figura 4.9** - Spighetta embrionale e abbozzo del nodo di base





**Figura 4.10** - Fase BBCH 30: inizio della levata in cui la pianta, ultimata la fase di accostimento e completata nel contempo la differenziazione della spiga, inizia l'allungamento degli internodi crescendo in altezza. In questa fase la distanza tra la punta della spighetta ed il piano basale è pari ad 1 cm.

Lo stesso stadio viene raggiunto nel 2004 con un ritardo di circa 25 giorni fino ad arrivare nelle ultime due annate 2005 e 2006 in cui la differenza supera abbondantemente il mese.

Tale enorme *gap* fenologico è il risultato quindi di condizioni climatiche assolutamente atipiche per il periodo, basti ricordare che nel 2004 e nel 2005 le nevicate a cavallo tra febbraio e gli inizi di marzo avevano abbondato nella regione dell'Emilia Romagna; tale fenomeno meteorologico è ormai ben lontano dalle successive previsioni.

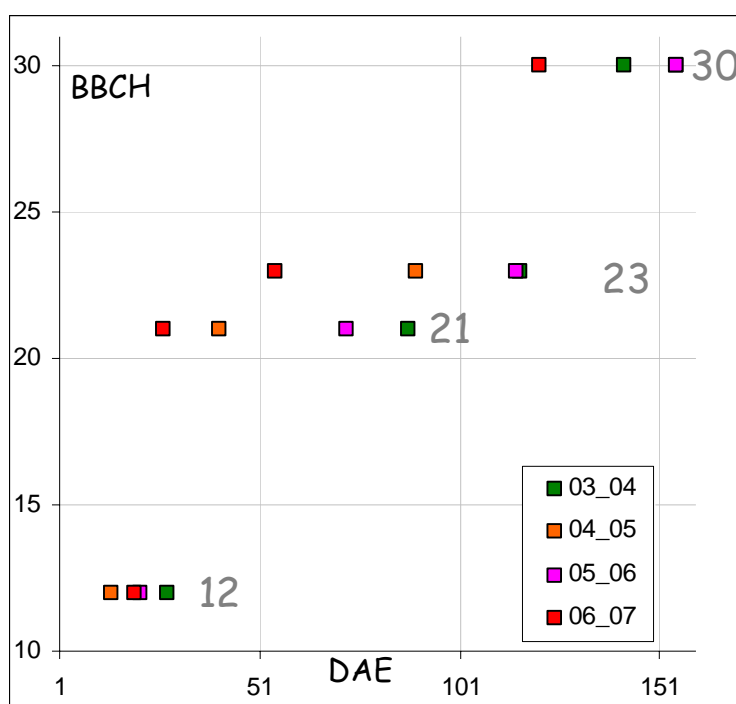
## 4.3 Frumento tenero

### 4.3.1 Risultati e descrizione fenologica

Le analisi delle fenofas1, sono state effettuate durante gli anni di sperimentazione sempre utilizzando la varietà Mieti, una delle più coltivate in Emilia Romagna. Mieti è una varietà mutica a maturazione medio-precocce, non alternativa, che raggiunge elevati risultati produttivi. La taglia è bassa e presenta una buona resistenza al freddo, all'allettamento e alle fitopatie. La granella bianca è di buona qualità.(racine.ra.it).

Come per il frumento duro anche per il tenero l'analisi fenologica risulterà essere molto dettagliata e costantemente arricchita di immagini per quel che concerne le fasi più importanti del suo sviluppo.

Dal grafico in fig 4.1 vengono evidenziate nelle 4 annate agrarie le fasi di emissione delle foglie, di formazione degli accestimenti, fino all'inizio dell'allungamento del fusto principale e quindi di innesco della levata (fig. 4.22). In rosso si mostrano i valori registrati nel 2007 e da come è facile intuire risultano sempre molto in anticipo rispetto agli altri anni. Infatti il raggiungimento della fase BBCH 30 nel 2004 avviene dopo 142 giorni dalla semina, nel 2005 e nel 2006 coincidono, ambedue registrate dopo 156 giorni dalla semina, mentre nel 2007 si ha un forte anticipo dopo soli 120 giorni.



**Figura 4.21** – Grafico raffigurante le epoche di emissione delle foglie, di formazione degli accestimenti e dell'inizio della levata



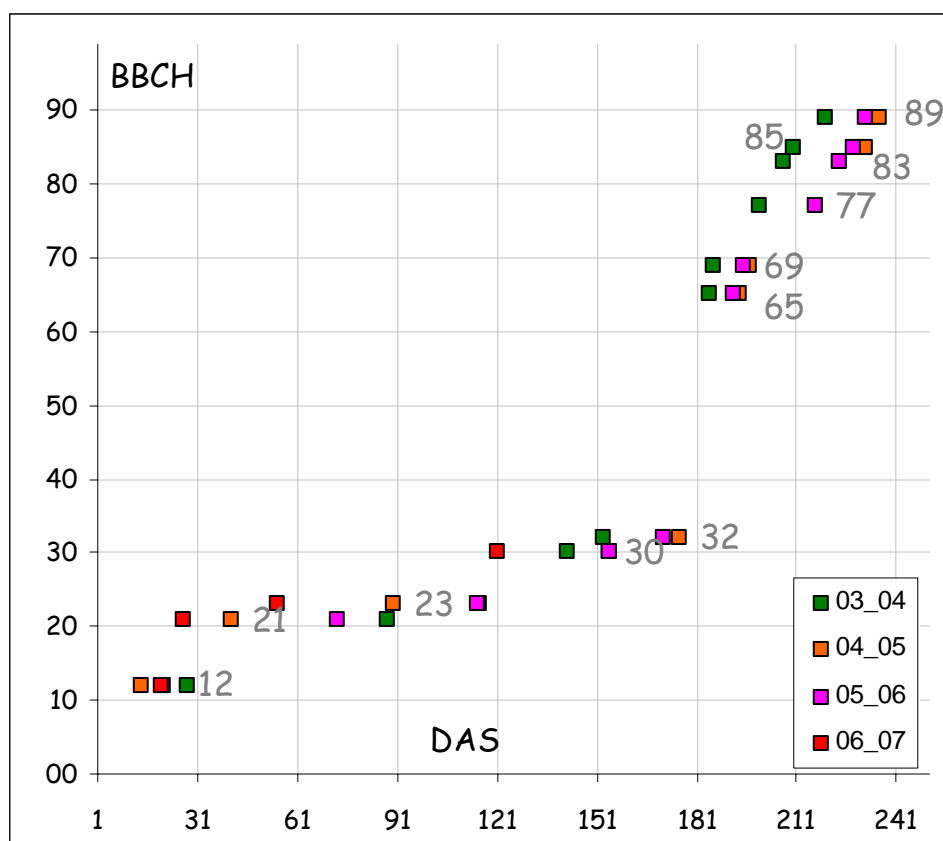


**Figura 4.22** - Fase BBCH 30: inizio della levata in cui la pianta, ultimata la fase di accestimento e completata nel contempo la differenziazione della spiga, inizia l'allungamento degli internodi crescendo in altezza.



**Figura 4.23** - Fase BBCH 65: piena fioritura in cui oltre il 50% delle antere è fuoriuscita dalle spighe

Proiettando l'analisi fenologica degli anni 2003/04, 2004/05 e 2005/06 alla fenofase della fioritura (fig. 4.23), consideriamo la dispersione dei dati nel grafico in figura 4.24.



**Figura 4.24** - Schema di sviluppo fenologico generale del grano tenero dalla fase BBCH 12 alla BBCH 85. Da esso risulta che dalla fase di piena fioritura con BBCH 65 fino alla maturazione fisiologica BBCH 85, le differenti annate agrarie si comportano mantenendo all'incirca le stesse distanze in termini di tempo impiegato per il raggiungimento degli stadi fenologici.

La fase 65 nel 2004 avviene 185 giorni dalla semina contro i 192 e 194 degli altri anni. Anche nella fine della fioritura, BBCH 69, in cui è già avvenuta la fecondazione e le antere si disidratano, le distanze tra i tre anni si mantengono più o meno le stesse: 186 giorni dalla semina nel 2004 e 195 e 197 rispettivamente nel 2005 e 2006. Stessa prospettiva nel raggiungimento della fase BBCH 77 di raggiungimento della piena maturazione lattea, in cui la spiga ha raggiunto la dimensione massima come pure la granella; le cariossidi nella parte più in alto possono essere rotte con la semplice pressione delle dita e da esse fuoriesce un liquido lattiginoso (fig.4.25).



**Figura 4.25** – Fine della maturazione lattea, BBCH 77

Questa fase viene raggiunta sempre in anticipo nel 2004 dopo 200 giorni dalla semina, mentre le altre dopo 17 giorni nel 2005 e nel 2006. Le fasi BBCH 83 (fig. 4.26) e 85 rappresentano la macrofase di maturazione cerosa. La BBCH 83 mostra l'inizio della maturazione cerosa, ovvero il passaggio da un contenuto lattiginoso della cariosside, tipico della maturazione lattea precedente, ad un contenuto pastoso fino ad arrivare alla fase BBCH 89 in cui si ha la piena maturazione del chicco di granella (fig. 4.27).

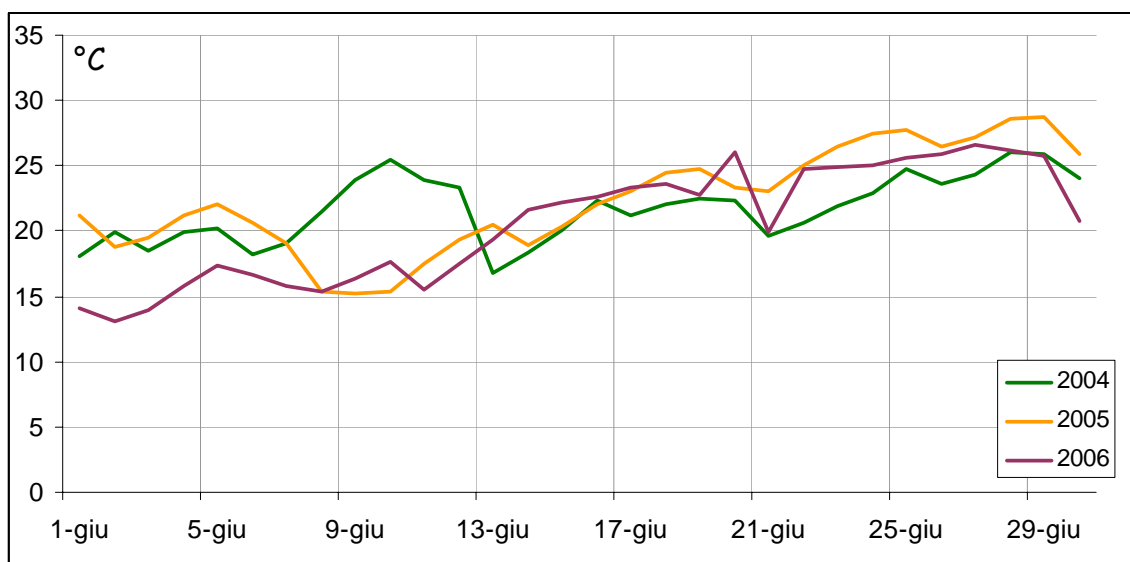
Nel percorso fenologico che porta alla fase di piena maturazione 89 si nota ad ogni stadio il costante anticipo del 2004 sulle altre annate agrarie. Dopo 207 giorni il frumento tenero è già in fase cerosa, mentre negli altri anni si dovrà aspettare oltre due settimane dopo cioè 224 giorni. Da ciò si deduce che a semine differenti i due teneri seminati nel 2003 e nel 2004 hanno incontrato in fase di maturazione condizioni termo-climatiche molto simili da garantire uno sviluppo quasi sovrapposto. Nel 2006 invece a parità di giorni dalla semina con il 2005 tale fase BBCH 83 avviene in data 12 giugno, 4 giorni oltre le date degli altri anni esaminati.

Dal grafico in figura 4.27, si deduce infatti come le temperature di giugno abbiano influenzato gli “arrotondamenti” fenologici soprattutto fino alla fase BBCH 83, fase che avviene nel “fazzoletto” di soli 4 giorni, tra l'8 giugno 2004 e 2005 e il 12 giugno del 2006.



**Figura 4.26** - Fase BBCH 83: inizio della maturazione cerosa in cui il contenuto delle cariossidi diventa pastoso

Meteorologicamente la settimana che va dal 7 al 13 di giugno nel 2004 è stata particolarmente calda rispetto agli altri anni; ciò ha permesso al grano di quell'annata di accelerare notevolmente anche la fase di *grain filling* determinando il raggiungimento della fase BBCH 83 all'incirca come nel 2005 e nel 2006, questo pur non avendo lo stesso carico di giorni dalla semina..



**Figura 4.27** - Andamenti termici del 2004, 2005 e 2006 nel mese di giugno

Anche la fase BBCH 89 e quindi di piena maturazione (fig. 4.24 e 4.28), nel 2004 viene raggiunta con largo anticipo in termini di giorni dalla semina (220 contro 236 e 232), ma addirittura un giorno dopo il 2005 e 2006 (21 giugno 2004) in cui la piena maturazione avviene in data 20 giugno.



**Figura 4.28** - Fase BBCH 89: metà maturazione cerosa o maturazione fisiologica del frumento; la pasta delle cariossidi è ancora morbida, ma ormai secca (umidità intorno al 20%). Incidendole con un'unghia, non rimane alcuna impronta.

Quindi il frumento dell'annata agraria 2003/04 come anche le altre colture vernine, ha dimostrato che, seppur partito con un certo ritardo, con semina il 14 di novembre, sembrerebbe essere riuscito a sfruttare le migliori opportunità termiche della primavera 2004 arrivando non solo con un numero di giorni dalla semina (DOY) quasi sempre inferiore rispetto al 2005 e 2006, ma anche anticipando o eguagliando le epoche registrate sul calendario nelle corrispondenti annate agrarie 2004/05 e 2005/06.

#### 4.3.2 Modello delle somme termiche mediante gradigiorno

Alla luce di quanto detto quanto mai utile risulta essere l'uso del modello delle somme termiche per vedere come effettivamente ha inciso il fattore della temperatura nel 2004 rispetto agli altri anni.

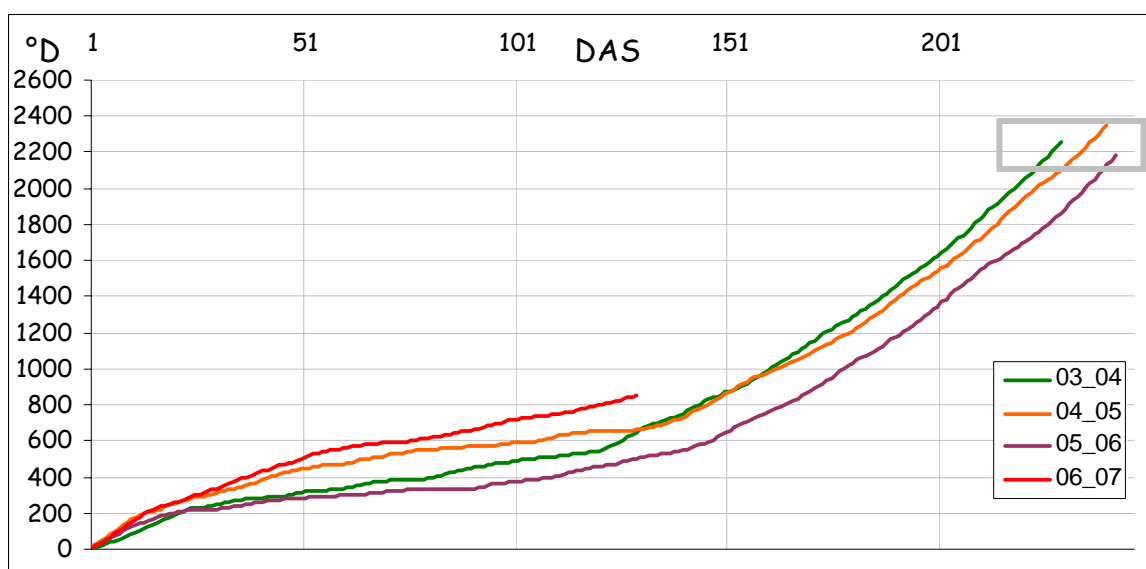
Come per il frumento duro anche per il tenero è stato preferito utilizzare la somma termica accumulata mediante l'approssimazione del triangolo, in quanto si riesce a delimitare un *range* ben preciso nel quale la pianta riesce ad sfruttare a pieno le condizioni termiche, risultando pertanto un metodo più accurato. In tabella 4.3.1 sono riportati tutti i valori di cumulate termiche calcolati mediante la formula del triangolo. Ciascuno dei valori rappresenta l'accumulo di energia termica da parte della coltura per ognuna delle fasi fenologiche analizzate ed in ogni singolo anno di sperimentazione. Tali quantità termiche vengono ulteriormente confrontate con la colonna dei valori delle somme termiche medie calcolati sulla base delle temperature medie degli ultimi 4 anni ( $^{\circ}\text{D}$  average).



03_04	04_05	05_06	06_07	bbch	average	03_04	04_05	05_06	06_07
0	0	0	0	00	0	0	0	0	00
28	14	21	20	12	231,7	242,0	210,9	209,4	264,7
88	41	73	27	21	370,6	443,8	391,3	326,4	321,0
116	90	115	55	23	522,0	533,4	570,0	441,0	543,4
142	155	155	121	30	816,0	791,1	941,7	721,7	809,4
153	176	171		32	746,8	908,3	1174,1	904,7	
185	194	192		65	1017,3	1382,1	1466,8	1220,2	
186	197	195		69	1045,4	1399,3	1510,8	1271,3	
200	217	217		77	1300,3	1644,0	1895,1	1662,0	
207	224	224		83	1863,2	1781,2	2031,7	1776,8	
210	232	228		85	1966,0	1854,4	2180,9	1862,7	
220	236	232		89	2099,4	2063,0	2276,6	1958,5	

**Tabella 4.3.1** - Tabella in cui vengono evidenziate le cumulate termiche in relazione alle fasi fenologiche

Servendosi della formula dell'approssimazione del triangolo sono state calcolate le somme termiche nelle 4 annate agrarie. Dalla tabella 4.3.1 risulta evidente come già analizzato nel frumento duro, l'elevata energia termica accumulata dalla coltura durante la prima parte del 2007 rispetto agli altri anni. Allargando l'analisi termica alla momento della raccolta e quindi della maturazione commerciale, si nota (fig. 4.3.1) come sia nel 2003/04 che nel 2005/06 l'accumulo termico corrispondente avvenga al ridosso delle 2200 °D, mentre il 2004/05 continua la sua ascesa termica fino ad un valore di oltre 2500 °D. Infatti la fase di maturazione fisiologica BBCH 85 del frumento tenero nel 2003/04 è stata raggiunta dopo 210 giorni dalla semina (11 giugno) con sommatoria termica pari a 1854 °D, nel 2004/05 dopo 232 giorni (il 16 di giugno) con una somma termica di ben 2181 °D e nel 2005/06 dopo 228 giorni (sempre il 16 giugno).



**Figura 4.3.1** - Distribuzioni termiche cumulate nei diversi anni fino alla fase di maturazione commerciale di raccolta. Anche in questo caso come nel duro, si capisce come la somma termica perda un po' il suo effetto di previsione fenologica in cui non è sempre detto che ad un maggior tempo termico, espresso in quantità di unità termiche °D, debba corrispondere alla fine una determinata fase fenologica.

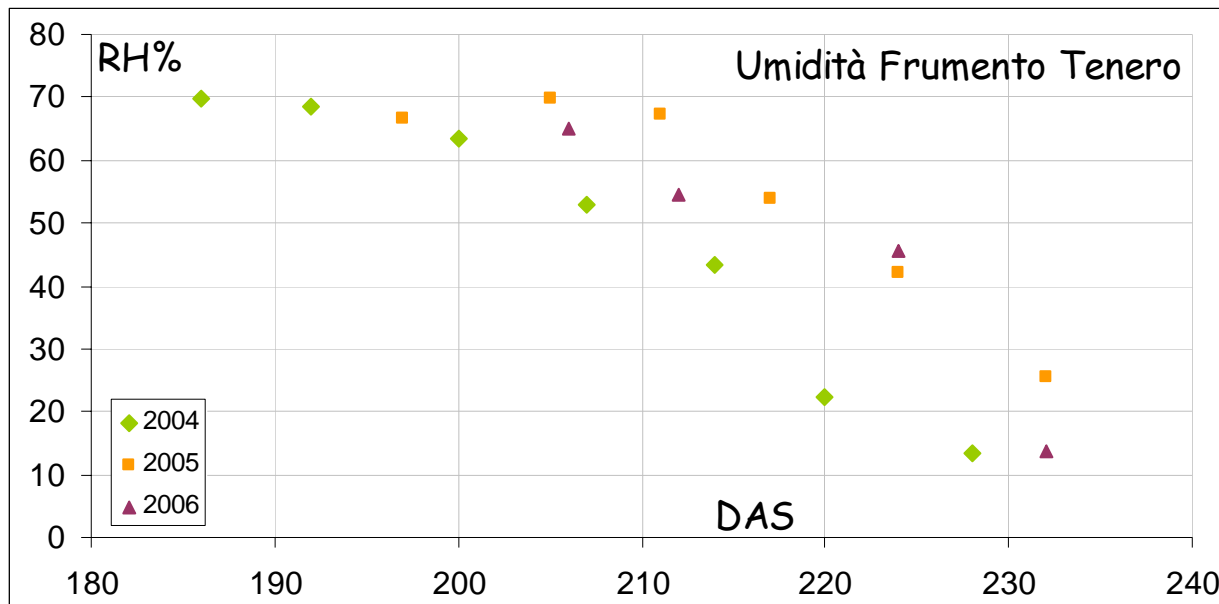
Tali analisi però ci aiutano a capire la contingenza dello sviluppo in fenologia e fino a che punto la temperatura determini la sua lineare influenza sui cicli biologici. Tali pensieri ci permettono quindi di dare spazio ai più complessi, ma utili modelli fenologici dei quali abbiamo parlato nel primo capitolo.

### 4.3.3 Risultati dei rilievi biometrici

#### *Analisi in itinere*

Anche per il frumento tenero, a partire dalla fase di riempimento delle cariossidi BBCH 71, sono state condotte su 10 spighe dei rilievi biometrici per calcolare l'umidità della granella.

Vengono prelevate 10 spighe dalla parcella della coltura e calcolato il peso fresco delle stesse in laboratorio. Successivamente le 10 spighe, dopo essere state pesate, vengono riposte in stufa alla temperatura di 105°C per circa 24 ore. All'uscita, esse saranno state sottratte della quantità d'acqua calcolata nel peso fresco e calcolata l'umidità. Considerando il grafico in figura (fig.4.3.2) si nota come si distribuiscono i valori di umidità degli anni 2004, 2005 e 2006 in funzione dei giorni dalla semina, che per comodità visiva, abbiamo fatto iniziare con il valore 180, giorno dell'anno in cui in tutte e tre le campagne sperimentali è sicuramente iniziata la fase del riempimento delle cariossidi.



**Figura 4.3.2** - Grafico dei valori di umidità raggiunti dalle dieci spighe di grano nei 3 anni prima della raccolta

E' evidente come i valori di umidità in verde registrati nel 2004, abbiano un andamento sempre al di sotto degli altri dati sul grafico, questo delinea come già visto nel duro, una perdita di umidità in campo molto più accelerata che nelle altre annate. I dati in arancione (2005) e quelli in viola (2006), risultano invece molto più vicini, da ciò si deduce come già abbiamo visto, che il mese di giugno è

risultato essere piuttosto mite rispetto al 2004 in cui i valori di umidità risultavano sempre molto bassi.

### *Analisi in epoca di raccolta*

Nella tabella sottostante (tab. 4.3) sono riportati i principali valori medi biometrici riscontrati nelle tre differenti annate di sperimentazione nel frumento tenero.

Rilievi Biometrici Finali Frumento Tenero											
Epoca	Investimento	h (cm)	N°	pFn (g)	pSn (g)	pFn (g)	pFn (g)	pSn (g)	RH%	Resa (t/ha)	peso hl (Kg/hl)
raccolta	unità pte × m <sup>2</sup>	culmo principale	spighe	fusto	fusto	spighe	granella	granella	granella	granella	granella
2004	735	82,10	2,60	2,54	2,23	3,47	2,72	2,39	12,48	7,70	77,1
2005	760	76,05	2,50	3,45	2,41	3,85	3,12	2,81	10,14	8,80	80,2
2006	565	73,30	2,60	4,65	3,04	5,81	4,78	4,25	10,58	10,63	80,9
media	686,67	77,15	2,57	3,55	2,56	4,38	3,54	3,15	11,07	9,04	79,40

**Tabella 4.3.2** - Scheda riassuntiva delle grandezze biometriche analizzate durante i 3 anni di sperimentazione

Nell'estate del 2004, alla chiusura dell'annata agraria 2003/04, il frumento tenero è stato raccolto ad un'umidità del 12,48 %, valore vicino al 13% commerciale.

La resa rilevata nella parcella sperimentale è risultata essere di 7,70 t/ha ed il peso ettolitrico (hl o PS) della granella è stato di 77,1 Kg/hl. E' risultato poi che le piante, con un'altezza media di circa 82 cm, hanno avuto un ottimo investimento con circa 750 piante per m<sup>2</sup> e che le spighe portate a termine di maturazione sono state in media in numero di 3.



**Figura 4.3.3** - Fase BBCH 99 di raccolta in cui vengono effettuate tutte le rilevazioni biometriche finali sulla pianta intera e sulle cariossidi

Nel 2005 l'investimento è stato di 760 piante per m<sup>2</sup> valore analogo a quello riportato nel 2004, realizzando però una resa produttiva più alta, cioè di 8,80 t/ha.



Nel 2006 si è avuta la miglior resa in assoluto con 10,63 t/ha, valore coadiuvato da un buon peso ettolitrico ed un investimento di piante per m<sup>2</sup> piuttosto basso.

Il 2005/06 quindi è risultata un'annata in cui il frumento tenero deve avere avuto una grossa spinta iniziale, in cui la fase di accestimento è stata ottimale.

Infatti seppure la densità di piante per m<sup>2</sup> è stata modesta, le spighe per singola pianta portate a maturazione, hanno sopperito a tale limite garantendo una resa ottimale, fine ultimo di una buona produzione agricola.

## **4.4 Orzo**

### **4.4.1 Risultati fenologici (osservazioni delle fenofasi e considerazioni termiche)**

Il ciclo di sviluppo dell'orzo è quello tipico dei cereali vernini. Nella stazione agrofenologica di Cadriano i rilievi sono stati condotti, durante un periodo di 4 anni (considerando quello in corso), sempre sulla varietà di orzo Federal, una delle più coltivate della zona.

Questo orzo polistico di taglia medio bassa, si caratterizza innanzitutto per l'elevata resistenza all'allettamento.

Particolarmente significativa risulta inoltre la tolleranza di FEDERAL al complesso della virosi del mosaico, che consente a questo genotipo di eccellere anche nei comprensori ordeicoli soggetti a questa grave fitopatia.

L'ottima fertilità della spiga ha infine consentito alla varietà di diffondersi rapidamente su tutto il territorio nazionale, sia negli areali più fertili sia nelle zone maggiormente soggette ai principali stress biotici e abiotici che interessano le nostre colture (sisonweb\_orzo).

Per rendere più efficace la descrizione dello sviluppo fenologico durante le annate agrarie, è bene partire direttamente dall'importante fenofase della fioritura.

Il periodo in analisi, quindi non ci permette di utilizzare i dati dell'anno in corso, in quanto i dati sperimentali utilizzati hanno termine il 23 di febbraio 2007.

La fioritura all'inizio si identifica con la fuoriuscita delle prime antere dalle spighe a partire dalla parte mediana della spiga (fig. 4.4.1).



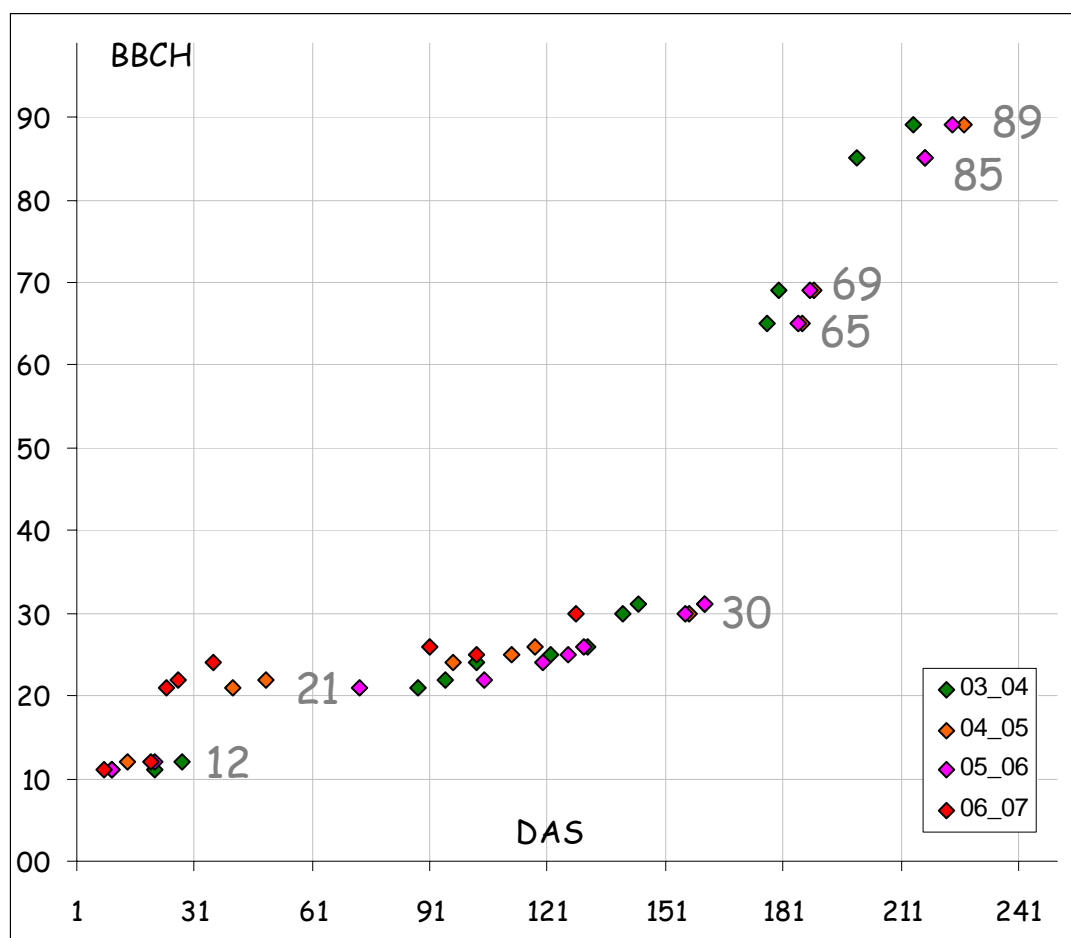
**Figura 4.4.1** - Piena fioritura 65: oltre il 50% delle antere fuoriuscite dalle spighe

L'antesi è poi completa quando tutte le antere sono fuoriuscite e cominciano a disidratarsi e seccarsi fino a staccarsi dalla spiga stessa (fig. 4.4.2).



**Figura 4.4.2** – Fine fioritura BBCH 69: le antere cominciano a disidratarsi: comincia il *grain filling* delle cariossidi

Ovviando il periodo fenologico antecedente nel quale il 2007 come già descritto per il frumento duro, anticipa tutte le fasi fenologiche, le nostre analisi cadono sulle annate 2003/04, 2004/05 e 2005/06. Dal grafico in figura 4.4.3 vediamo come avviene la fase della fioritura nei diversi anni in analisi.



**Figura 4.4.3** – Quadro fenologico dell'orzo nelle annate agrarie 2003/04, 2004/05 e 2005/06

Dalla figura 4.4.3 l'analisi fenologica della fase BBCH 65 risulta essere una perfetta trasposizione di dati nella fase di fine fioritura BBCH 69. Infatti come si evince dalla tabella

Nel 2003/04 la piena fioritura avviene dopo 177 giorni dalla semina (DOY) contro i 186 e 185 del 2004/05 e 2005/06. Tale anticipo fenologico in termini di DOY si mantiene perfettamente uguale anche per la fine della fioritura, in cui il gap di 3 giorni si estende a tutte e tre le annate (tab. 4.4.1).

bbch	03_04	04_05	05_06	06_07
00	0	0	0	0
11	21	10	10	08
12	28	14	21	20
21	88	41	73	24
22	95	49	105	27
24	103	97	120	36
25	122	112	126	103
26	131	118	130	91
30	140	157	156	128
31	144	161	161	
65	177	186	185	
69	180	189	188	
85	200	217	217	
89	214	227	224	

**Tabella 4.1-** Fasi BBCH e giorni dalla semina (DOY)

Tra la fine di maggio e l'inizio di giugno mese si evidenzia la fase della maturazione cerosa (fig. 4.4.4); tale fenofase culmina nella maturazione fenologica della granella (fase BBCH 85).



**Figura 4.4.4** – Fase BBCH 83 di inizio maturazione cerosa in cui il contenuto delle cariossidi diventa pastoso

In questo stadio, come riportato sia in tabella 4.4.1 che nel grafico 4.4.3, si ha il massimo anticipo in giorni dalla semina nel 2004. Infatti dopo soli 200 giorni dalla semina la maturazione fisiologica viene raggiunta il 1 giugno. Nel 2005 nel 2006 tale fenofase viene osservata dopo 217 rispettivamente il 1 giugno ed il 5 giugno. La fase della piena maturazione come in figura 4.4.6 si osserva il 15 giugno nel 2004 dopo 214 dalla semina, mentre il 18 ed il 22 giugno nel 2005 e nel 2006.



**Figura 4.4.5** – Fase BBCH 85 di maturazione fisiologica in cui la pasta delle cariossidi è ancora morbida, ma con un' umidità intorno al 20%

ed incidendole con un'unghia, non rimane alcuna impronta

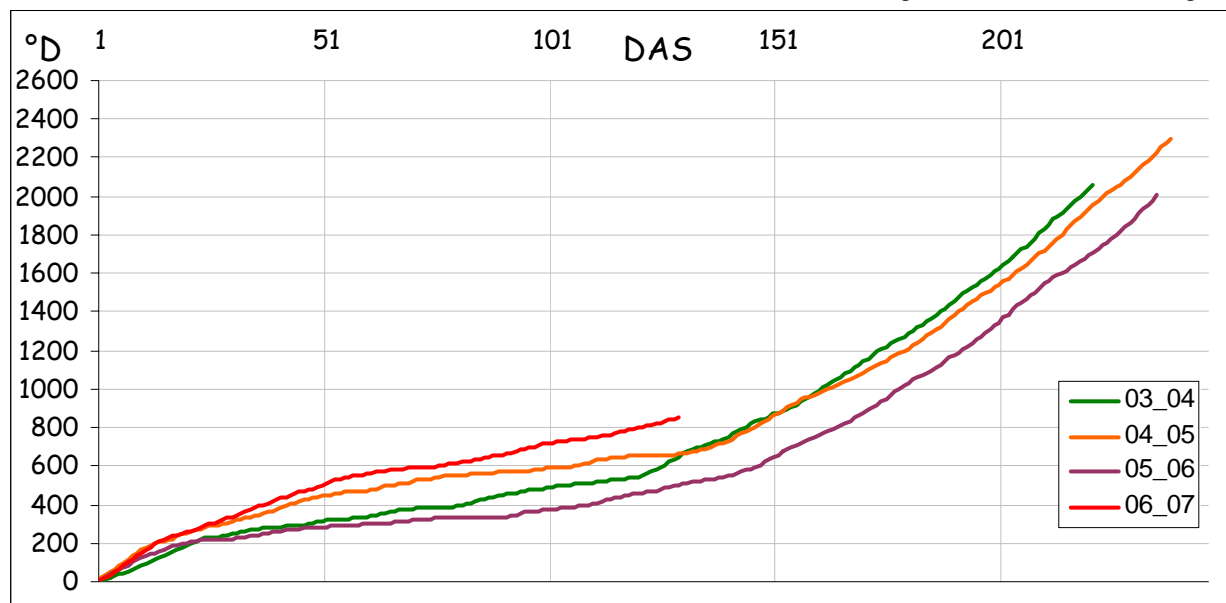


**Figura 4.4.6 – Fase BBCH 89 di maturazione piena in cui le cariossidi sono dure e si fa fatica a romperle con un'unghia.**

Come già visto negli altri cereali vernini sembrerebbe che il 2004 abbia garantito migliori opportunità termiche. Infatti come ampiamente spiegato nel capitolo 1 paragrafo 3, la temperatura è l'elemento climatico che maggiormente influenza lo sviluppo fenologico. Tuttavia dalle analisi termiche effettuate sulle temperature medie dei tre anni a partire dal 1 gennaio al 31 maggio, il periodo che ha influenzato maggiormente lo sviluppo fenologico ci accorgiamo del contrario. Infatti non solo la 2004/05 risulterà essere l'annata agraria più calda così come si nota dai dati elaborati mediante le somme termiche con temperatura di soglia 10 (fig.4.4.6 e tab 4.4.2) a partire dalle date di semina, ma anche attraverso il puro studio termico dei primi 5 mesi dell'anno.

bbch	average	03_04	04_05	05_06	06_07
00	0	0	0	0	00
11	163	208	179	133	131
12	232	242	211	209	265
21	365	444	391	326	299
22	407	474	442	389	321
24	486	502	580	460	399
25	607	568	639	491	731
26	647	671	653	512	751
30	826	765	952	733	854
31	866	820	997	781	
65	1232	1259	1325	1111	
69	1282	1303	1385	1160	
85	1734	1644	1895	1662	
89	1930	1933	2080	1777	

**Tabella 4.4.2** - Valori delle somme termiche calcolate mediante la formula del triangolo nelle diverse annate agrarie



**Figura 4.4.7** – Grafico delle somme termiche calcolate mediante l'approssimazione triangolare

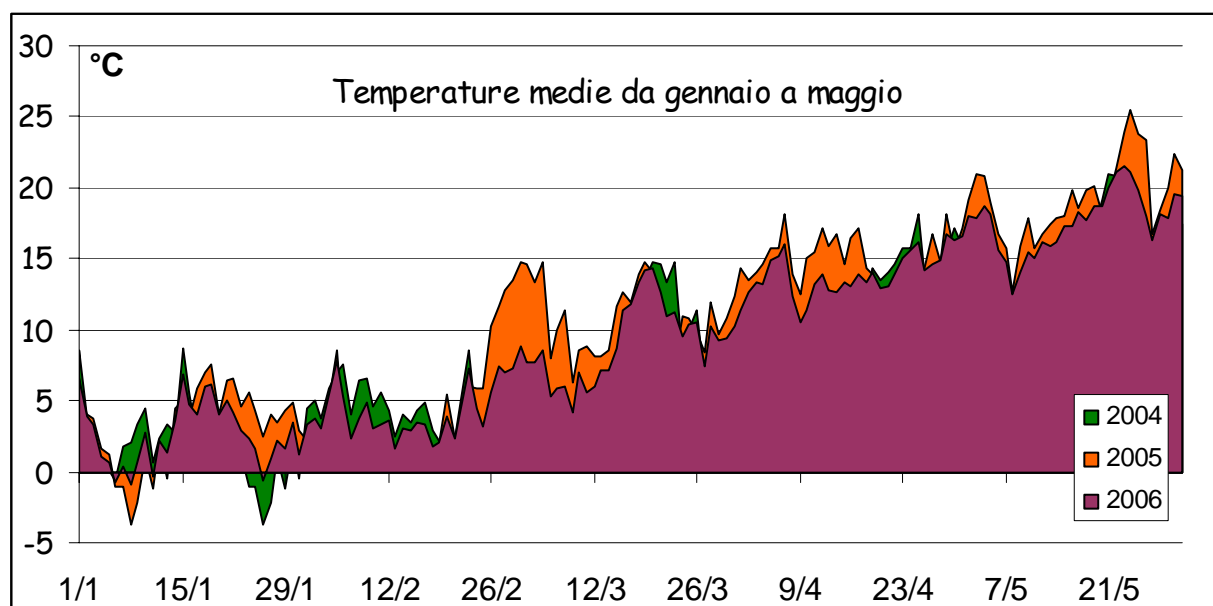
In effetti in tabella 4.4.3 è palese come già dalla semplice somma algebrica di tutte le temperature medie registrate dal primo gennaio al 31 di maggio dei tre anni in analisi, si evinca che il 2004 risulti essere piuttosto freddo se comparato agli altri.

Il 2005 spicca invece, con una somma di quasi 1600°C, ben al di sopra del 2004 (1279°C) e del 2006 (1435°C).

2004	2005	2006
1279,4	1590,5	1435,0

**Tabella 4.4.3** Semplice somma di tutte le temperature medie dal 1 gennaio al 31 di maggio

Dal grafico in figura 4.4.7 è nitida la superiorità termica che il 2005 esercita sugli altri andamenti.



**Figura 4.4.7** – Somme delle temperature medie giornaliere da gennaio a maggio degli anni 2004, 2005 e 2006.



#### 4.4.2 Risultati dei rilievi biometrici

##### *Analisi in itinere*

L'orzo, proprio per la sua precocità rispetto agli altri cereali vernini è stata la prima coltura su cui sono stati calcolati i valori di umidità *in itinere*.

A partire dalla fase di riempimento delle cariossidi BBCH 71, sono state condotte su 10 spighe dei rilievi biometrici per calcolare l'umidità della granella.

Vengono prelevate 10 spighe dalla parcella della coltura (fig.4.4.8) e calcolato il peso fresco delle stesse in laboratorio.

Successivamente le 10 spighe, dopo essere state pesate, vengono riposte in stufa alla temperatura di 105°C per circa 24 ore. All'uscita, esse saranno state sottratte della quantità d'acqua calcolata nel peso fresco e calcolata l'umidità.

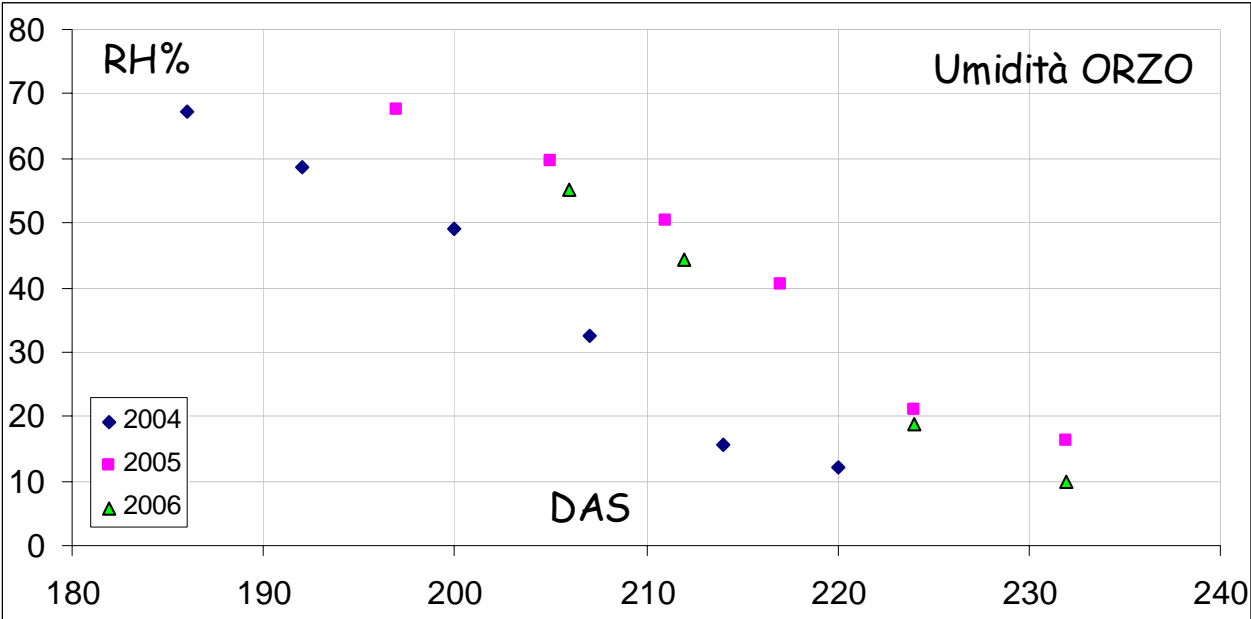


**Figura 4.4.8** - Raccolta delle 10 spighe ORZO su cui vengono calcolate le umidità

Considerando il grafico in figura (fig.4.4.9) si nota come si distribuiscono i valori di umidità degli anni 2004, 2005 e 2006 in funzione dei giorni dalla semina, che per comodità visiva, abbiamo fatto iniziare con il valore 180, giorno dell'anno in cui in tutte e tre le campagne sperimentali è sicuramente iniziata la fase del riempimento delle cariossidi.

E' evidente come i valori di umidità in verde registrati nel 2004, abbiano un andamento sempre al di sotto degli altri dati sul grafico, questo delinea come già visto nel duro, una perdita di umidità in campo molto più accelerata che nelle altre annate.

I dati in arancione (2005) e quelli in viola (2006), risultano invece molto più vicini, da ciò si deduce come già abbiamo visto, che il mese di giugno è risultato essere piuttosto mite rispetto al 2004 in cui i valori di umidità risultavano sempre molto bassi.



**Figura 4.4.9** - Grafico dei valori di umidità raggiunti dalle dieci spighe di orzo nei 3 anni prima della raccolta

### Analisi in epoca di raccolta

Nella tabella sottostante (tab. 4.3) sono riportati i principali valori medi biometrici riscontrati nelle tre differenti annate di sperimentazione.

Rilevi Biometrici Finali Orzo											
Epoca raccolta	Investimento unità pte x m2	h (cm) culmo principale	N° spighe	pFn (g) fusto	pSn (g) fusto	pFn (g) spighe	pFn (g) granella	pSn (g) granella	RH% granella	Reso (t/ha) granella	peso hl (t.g/hl) granella
2004	579	92,00	3,60	4,48	3,61	5,08	4,65	4,14	10,86	7,63	63,4
2005	215	91,75	1,70	1,49	1,36	2,29	2,05	1,83	11,00	7,10	59,8
2006	453	81,00	1,90	3,03	2,20	3,92	3,53	3,15	10,90	8,50	60
media	415,34	88,25	2,40	3,00	2,39	3,76	3,41	3,04	10,92	7,74	61,07

**Tabella 4.3** - Scheda riassuntiva delle grandezze biometriche analizzate durante i 3 anni di sperimentazione

Nell'estate del 2004, alla chiusura dell'annata agraria 2003/04, l'orzo è stato raccolto ad un'umidità del 10.86 %, ben al di sotto 13% commerciale.

La resa calcolata è stata pari a 7.63 t/ha ed il peso ettolitrico (hl o PS) della granella è risultato di 63,4.

La coltura ha avuto una buona percentuale di investimento di circa 600 piante per m<sup>2</sup> ; il numero medio di spighe per pianta è stato di 4, ed i culmi principali hanno presentato un'altezza media di circa 92 cm.





**Figura 4.4.10** - Fase BBCH 99 di raccolta in cui vengono effettuate tutte le rilevazioni biometriche finali sulla pianta intera e sulle cariossidi

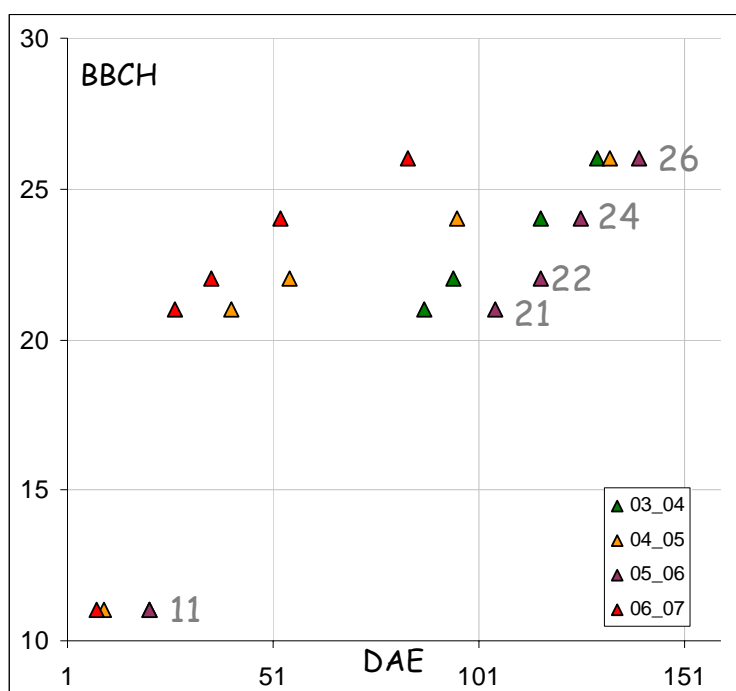
Il 2005 si distingue dal 2004 per i bassissimi valori d'investimento fino a 215 piante per m<sup>2</sup> e per il numero di spighe portate a maturazione (media di 2). Nonostante ciò, la resa produttiva è di poco inferiore quella delle altre annate (7,10 t/ha). Nel 2006 si è avuta la miglior resa in assoluto con 8.50 t/ha, valore coadiuvato da un discreto valore del peso ettolitrico e da un leggero aumento del numero di spighe, anche l'investimento è incrementato rispetto al 2004/05 (453 piante per m<sup>2</sup>), valori che però risultano inferiori al 2003/04. Si potrebbe così azzardare la teoria del “poco ma buono”. Infatti il 2006, inferiore sia per il numero di spighe, sia per l'investimento che per peso ettolitrico, rispetto al 2004 mostra una resa maggiore; ciò sta a dimostrare che il minor numero di piante e di spighe andate a maturazione, abbiano avuto un peso maggiore nella resa finale determinando in fase di levata un'ottimale “scelta”, da parte della pianta, del numero e della qualità dei culmi da portare a spigatura e successiva maturazione.

## 4.5 Avena

### 4.5.1 Risultati fenologici e considerazioni termiche

La varietà utilizzata nei quattro anni di sperimentazione nella stazione agrofenologica di Cadriano è l'Argentina. Essa è un'avena autunnale, alternativa, a maturazione medio-precoce, di taglia media, a granella rosata, con una buona resistenza al freddo ed alle malattie (<http://www.sisonweb.com>). E' una delle varietà più coltivate in Emilia-Romagna ed oltre alla destinazione foraggera, è particolarmente indicata ed apprezzata per la produzione della granella.

Lo sviluppo fenologico di questo cereale segue molto da vicino quello degli altri cereali vernini. In particolar modo, si avvicina molto all'aspetto dell'orzo fino alla fase di accestimento, ma termina il proprio ciclo biologico molto in ritardo chiudendo spesso l'annata agraria insieme al frumento. E' una coltura la cui caratteristica è proprio quella di formazione di culmi secondari, raggiungendo anche punte di 10 11 accestimenti per pianta. Dal quadro fenologico riportato in figura 4.5.1, in cui sono evidenziate le fasi di accestimento in relazione ai giorni dalla semina impiegati a raggiungerle durante le 4 annate agrarie, appare come già negli altri cereali, un forte anticipo dell'avena dell'annata agraria in corso.



**Figura 4.5.1** - Schema di sviluppo fenologico generale dell'avena dalla fase BBCH 11 alla BBCH 26 dal 2003 al 2007

Ciò viene osservato in tutte le fasi a partire dall'emissione della prima foglia fino alla formazione del sesto culmo secondario (fig. 4.5.2), in cui l'anticipo nel 2007 è estremamente marcato rispetto alle altre annate agrarie.



**Figura 4.5.2** – Fase di accestimento nell'avena BBCH 26

Avanzando nel tempo, la descrizione dello sviluppo fenologico tocca il suo massimo spessore scientifico a partire dalla fase fenologica della fioritura, stadio in cui le annate agrarie in esame saranno 2003/04 al 2005/06. Il periodo in analisi, quindi non ci permette di utilizzare i dati dell'anno in corso, in quanto i dati sperimentali utilizzati nell'anno corrente hanno termine il 23 di febbraio. Nell'avena i fiori sono tipici delle graminacee, con ovario monocarpellare supero, stigma bifido e 3 stami con antere bilobate (fig. 4.5.3).



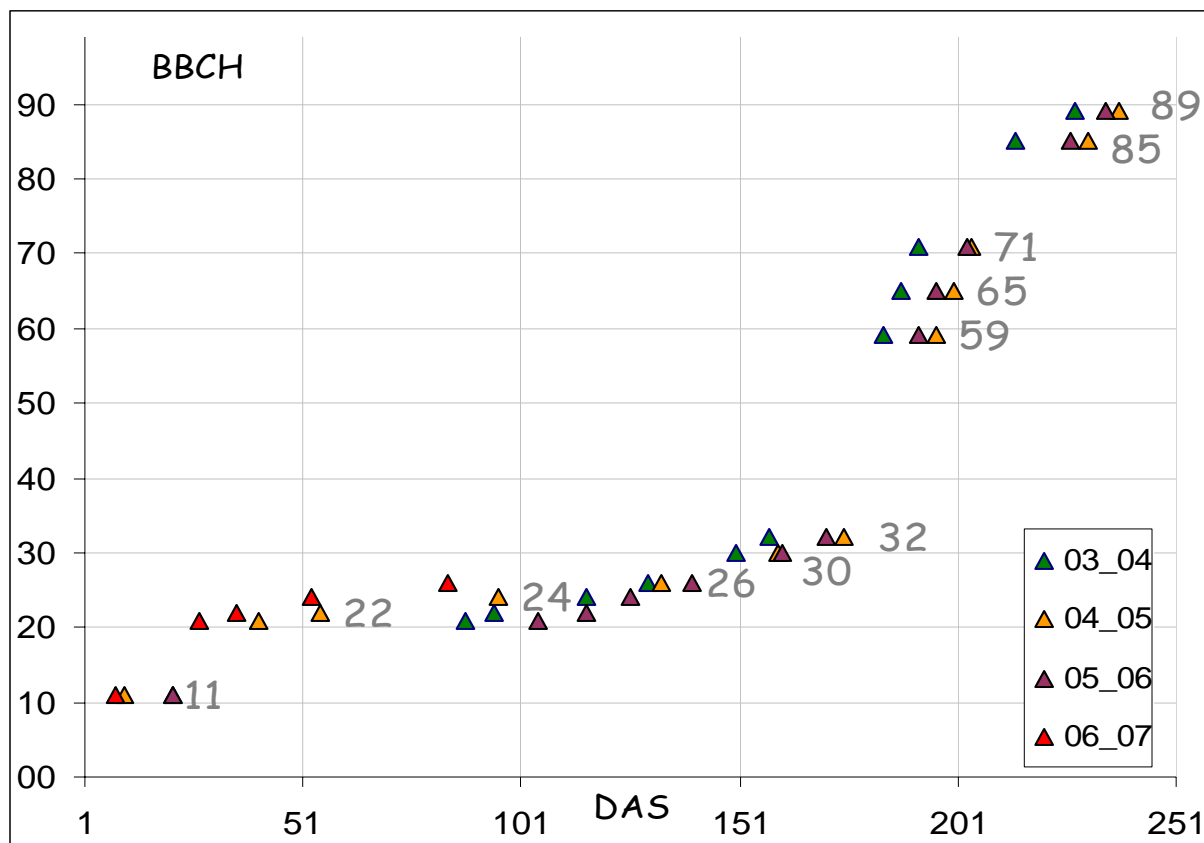
**Figura 4.5.3** Particolare delle antere bilobate nell'avena

La fioritura all'inizio si identifica quindi con la fuoriuscita delle prime antere dalle spigette a partire dalla parte mediana della spiga (fig. 4.5.3). La fioritura è scalare con progressione acropeta e si protrae per 6-7 giorni nell'ambito di un'infiorescenza fino ad arrivare alla così detta piena fioritura (BBCH 65). Tale fase, come per gli altri cereali, è il preludio ad un anticipo fenologico per tutte le fasi successive. In verde infatti sono indicate le osservazioni rilevate nel 2003/04 (fig. 4.5.4), confermando così l'anticipo in numero di giorni dalla semina del 2004 rispetto agli altri due anni di sperimentazione.

	03_04	04_05	05_06	06_07
00	0	0	0	0
11	21	10	21	8
21	88	41	105	27
22	95	55	116	36
24	116	96	126	53
26	130	133	140	84
30	150	160	161	
32	158	175	171	
59	184	196	192	
65	188	200	196	
71	192	204	203	
85	214	231	227	
89	228	238	235	

**Tabella 4.5.1** Fasi BBCH & DOY

Come riportato in tabella 4.5.1 quindi anche l'inizio del grain filling BBCH 71 (fig. 4.5.5) fino ad arrivare alla maturazione fisiologica BBCH 85 (fig. 4.5.4) in cui il gap in DOY si mantiene piuttosto elevato. Infatti, tale fase viene raggiunta nel 2004 dopo soli 214 giorni dalla semina il 15 di giugno, dopo 238 giorni ovvero il 22 giugno nel 2005 e passati 235 giorni dalla semina, quindi il 23 di giugno nel 2006.



**Figura 4.5.4** - Schema di sviluppo fenologico generale dell'avena dalla fase BBCH 11 alla BBCH 85 dal 2003 al 2007



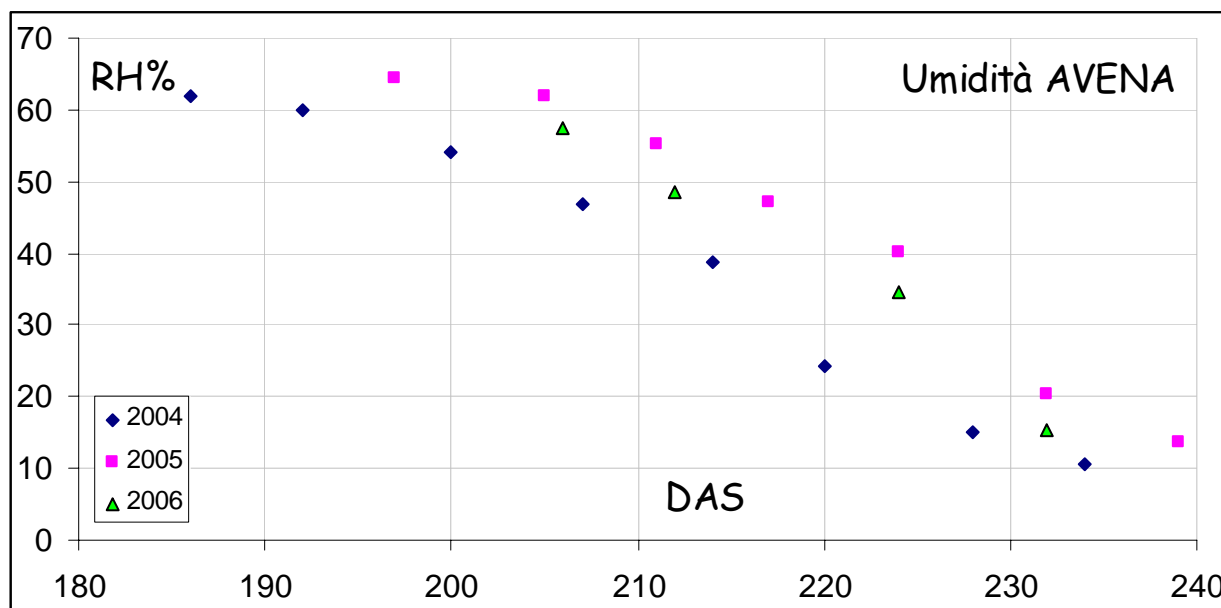
**Figura 4.5.5** - BBCH 71 fase di inizio del riempimento della cariosside

Ancora una volta siamo di fronte ad una particolare situazione termica dalla quale si evince che altre componenti ambientali pesano sullo svolgimento delle fasi fenologiche di un individuo vegetale.

#### 4.5.2 Risultati biometrici

##### *Analisi in itinere*

L'avena è risultata essere la coltura più tardiva rispetto agli altri cereali vernini, quindi le analisi di umidità delle cariossidi sono sempre iniziate con almeno una settimana in ritardo rispetto ai frumenti e all'orzo.. A partire dalla fase di riempimento delle cariossidi BBCH 71, sono state condotte su 10 spighe dei rilievi biometrici per calcolare l'umidità della granella. Sono state prelevate 10 spighe dalla parcella della coltura e calcolato il peso fresco delle stesse in laboratorio. Successivamente le 10 spighe, dopo essere state pesate, vengono riposte in stufa alla temperatura di 105°C per circa 24 ore. All'uscita, esse saranno state sottratte della quantità d'acqua calcolata nel peso fresco e calcolata l'umidità.



**Figura 4.5.6** - Grafico dei valori di umidità raggiunti dalle dieci pannocchie di avena nei 3 anni prima della raccolta

Considerando il grafico in figura (fig.4.5.6) si nota come si distribuiscono i valori di umidità degli anni 2004, 2005 e 2006 in funzione dei giorni dalla semina, che per comodità visiva, abbiamo fatto iniziare con il valore 180, giorno dell'anno in cui in tutte e tre le campagne sperimentali è sicuramente iniziata la fase del riempimento delle cariossidi. E' evidente come i valori di umidità in verde registrati nel 2004, abbiano un andamento sempre al di sotto degli altri dati sul grafico, questo delinea come già visto nel duro, una perdita di umidità in campo molto più accelerata che nelle altre annate. I dati in arancione (2005) e quelli in viola (2006), risultano invece molto più vicini, da ciò si

deduce come già abbiamo visto, che il mese di giugno è risultato essere piuttosto mite rispetto al 2004 in cui i valori di umidità risultavano sempre molto bassi.

### *Analisi in epoca di raccolta*

In tabella 4.5.2 sono riportati i principali valori medi biometrici riscontrati nelle tre differenti annate di sperimentazione nell'avena.

Rilievi Biometrici Finali Avena										
Epoca	Investimento	h (cm)	N°	pFn (g)	pSn (g)	pFn (g)	pFn (g)	pSn (g)	RH%	Resa (t/ha)
<b>raccolta</b>	unità pte x m2	culmo principale	spighe	fusto	fusto	spighe	granella	granella	granella	granella
<b>2004</b>	928	118,20	3,40	6,42	3,46	3,80	3,37	3,04	9,78	9,49
<b>2005</b>	1416	105,10	3,00	4,33	2,31	2,12	1,72	1,25	11,93	6,10
<b>2006</b>	771	122,90	4,00	13,70	5,13	6,04	5,47	4,90	9,28	9,10
<b>media</b>	1038,23	115,40	3,47	8,15	3,63	3,99	3,52	3,06	10,33	8,23

**Tabella 4.5.2** - Scheda riassuntiva delle grandezze biometriche analizzate durante i 3 anni di sperimentazione



**Figura 4.5.7** - Fase BBCH 99 di raccolta in cui vengono effettuate tutte le rilevazioni biometriche finali sulla pianta intera e sulle cariossidi



Nell'estate del 2004, alla chiusura dell'annata agraria 2003/04, l'avena è stata raccolta ad un'umidità del 9.78 %, valore fortemente inferiore rispetto al 13% commerciale.

La resa è stata molto alta, pari a 9.49 t/ha; l'altezza media delle piante è risultata di circa 120 cm, l'investimento piuttosto alto di circa 930 piante per m<sup>2</sup> e oltre 3 le pannocchie portate a termine di maturazione.

Nonostante il 2005 si distingue dal 2004 per gli altissimi valori d'investimento fino a 1416 piante per m<sup>2</sup>, la resa produttiva si presenta piuttosto bassa (6,10t/ha), evento imputabile sicuramente al minor numero di pannocchie mature rilevato in fase di raccolta, ma soprattutto a causa del fenomeno dell'allettamento (fig. 4.5.8), che soprattutto nel 2005 ha fortemente influenzato la coltura dell'avena.



**Figura 4.5.8** - Allettamento delle piante di avena in fase di maturazione latte avanzata

L'annata agraria 2005/06 presenta il valore d'investimento in piante più basso (771 piante per m<sup>2</sup>), ma la resa di 9,10t/ha è simile a quella del 2004, valore coadiuvato dal numero di pannocchie per pianta (4 unità).

Nell'annata agraria 2005/06, quindi, con un investimento basso di piante per m<sup>2</sup> si mette in risalto la teoria del giusto equilibrio, in cui evidentemente le condizioni climatiche, la buona resistenza ad avversità sia biotiche che abiotiche e le maggiori opportunità da parte della pianta a sfruttare la propria nicchia ecofisiologica, dovuta ad una giusta percentuale d'investimento, hanno favorito la fase di maturazione.

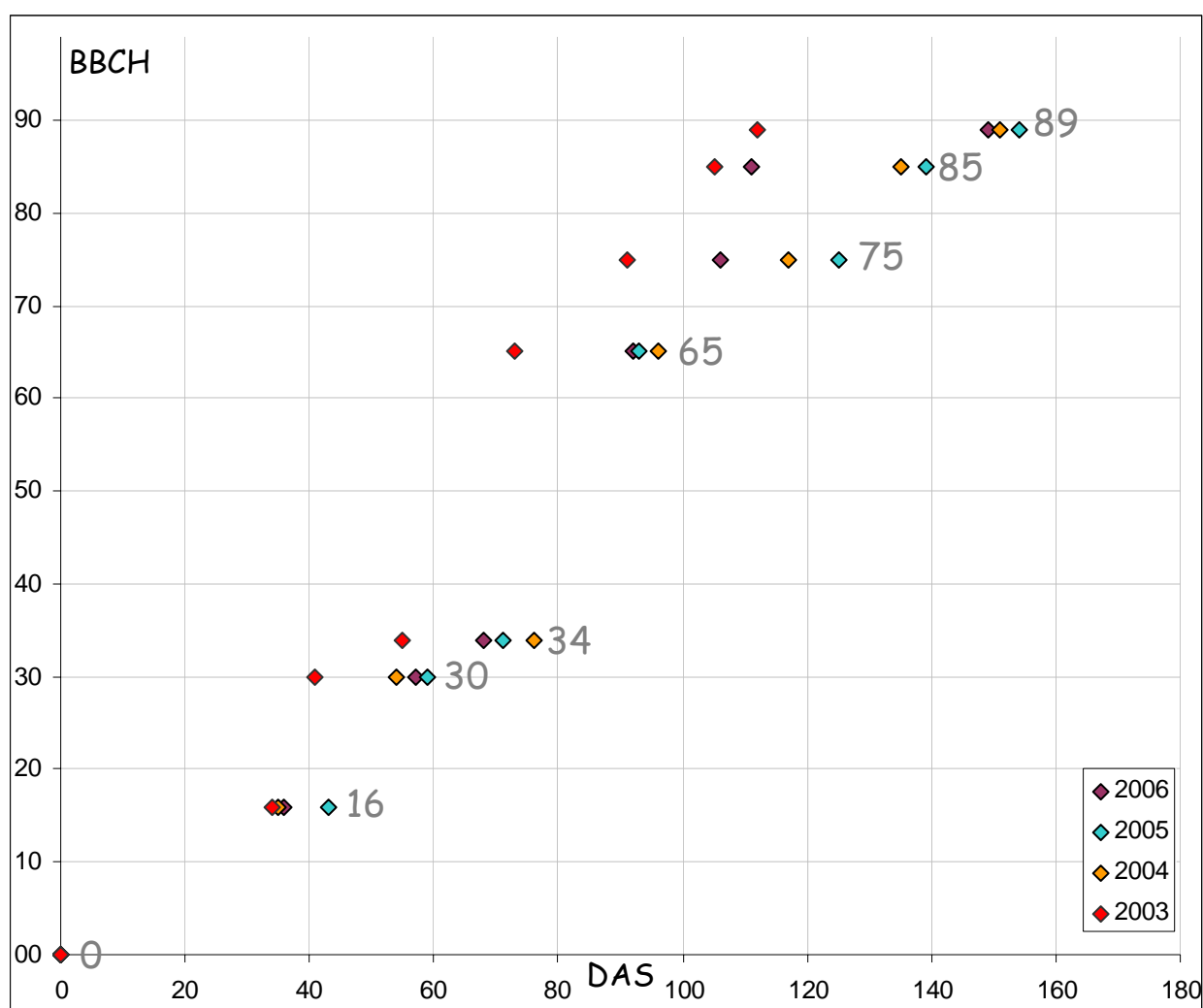
## 4.6 Mais

### 4.6.1 Risultati e descrizione fenologica

Il mais è una pianta da rinnovo a ciclo primaverile-estivo sensibile al freddo, specialmente durante i primi stadi di sviluppo, per questi motivi viene seminata possibilmente in periodi esenti da possibili ritorni di freddo. A conferma di ciò nella prima annata agraria sperimentale (2003) fu seminata il 16 di aprile. Tuttavia le elevate condizioni termiche dell'anno 2003 ed il progressivo *global warming* hanno indotto gli agricoltori e quindi anche la nostra stazione sperimentale ad una semina anticipata.

Nel 2003 è stata seminata un mais varietà Cecilia, mentre nei successivi 3, sempre la varietà PR34N43, mantenendo comunque la stessa classe di ibrido FAO 500.

Nel grafico in figura 4.6.1 vengono indicate tutte le fasi fenologiche principali che portano alla piena maturazione BBCH 89.



**Figura 4.6.1** - Schema di sviluppo fenologico generale del mais dalla fase BBCH 16 alla BBCH 89



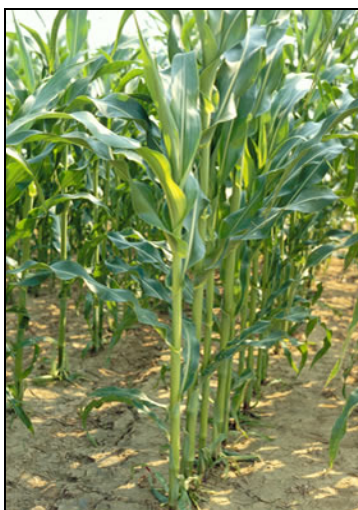
E' evidente come tutte le fasi fenologiche a partire dalla BBCH 16 (fig. 4.6.1) siano in anticipo nel 2003, anno dall'estate estremamente calda (cap.4 par.4.1).



**Figura 4.6.1** - Fase fenologica con scala BBCH16: a coltura di mais presenta 6 foglie completamente distese

Nel mais a differenza dei cereali vernini lo studio fenologico verte su 4 anni di dati completi e ciò ci garantisce un maggior carico di comparazione. Infatti nelle altre osservazioni fenologiche le vere e proprie anomalie climatiche si trovano nei dati termici dell'anno in corso 2007, annata agraria che propone purtroppo risvolti incompiuti, essendo i dati a disposizione fino al 23 febbraio.

Arrivando alla fase di levata BBCH 30 (fig. 4.6.2), ovviando l'anticipo del 2003, si osserva una buona omogeneità dei dati, infatti in un fazzoletto di soli 5 giorni, sottile differenza che incrementa sensibilmente con la comparsa del 4 nodo (4.6.3), stadio raggiunto in sequenza prima dal 2006, dal 2005 e dal 2004 dopo 73 giorni dalla semina (DOY), lasso di tempo in cui nel 2003 il mais era già in piena fioritura.



**Figura 4.6.2** - BBCH 30: le piante di mais hanno iniziato la fase di levata o di allungamento degli internodi.

La piena fioritura è la fase BBCH 65, stadio fenologico in cui dalle brattee che racchiudono la spiga fuoriescono le setole di color bianco giallastro (fig. 4.6.2).



**Figura 4.6.3** - Fase BBCH 65: Dalle brattee che racchiudono la spiga fuoriescono le setole di color bianco giallastro, ovvero gli stili e gli stigmi dei fiori femminili. L'evento si manifesta poco dopo l'emissione del polline dalle antere dei fiori maschili (pennacchio).



**Figura 4.6.4** - Fase BBCH 67-69: Completa fioritura o Senescenza setole. Le antere del pennacchio esauriscono la loro emittività di polline e si presentano vuote, mentre la parte apicale delle setole si mostra imbrunita e di consistenza pagliosa. Ciò sta ad indicare che la fecondazione è avvenuta.



Come già visto nei vernini i valori del DOY non sono le date da calendario e infatti questa fase seppure dopo 73 DOY, avviene in data 28 giugno 2003, più in là rispetto al mais nel 2005 (23 giugno) e solo di un giorno più precoce del 2006 (29 giugno).



**Figura 4.6.5** - Fase BBCH 75: la spiga e le cariossidi (granella) hanno raggiunto la massima dimensione.

Lo stadio BBCH 75 rappresenta la piena maturazione latte, fase in cui alla rottura delle cariossidi, che può essere effettuata con la semplice pressione delle dita, fuoriesce un liquido lattiginoso ricco di sostanze di riserva.

Questa fenofase si manifesta dopo 91 DOY nel 16 luglio 2003, dopo 117 DOY il 26 luglio 2004, dopo 109 DOY il 25 luglio 2005 e dopo 106 giorni dalla semina il 13 luglio 2007.

Il 2005 senza gli stress termici avuti per eventi meteorici in febbraio marzo presenta una estate particolarmente calda e favorisce lo sviluppo.

Nelle colture termiche come il mais i modelli come le somme termiche funzionano meglio perché nel periodo primaverile estivo non avvengono eventi bloccanti come quelli che possono accadere in inverno (vedi vernini e eventi nevosi)



**Figura 4.6.6** - Fase BBCH 85 Maturazione cerosa

La fase di maturazione cerosa si considera raggiunta quando le cariossidi presentano una umidità residua compresa fra il 35% e il 50% del peso totale. Sulle cariossidi compare la cosiddetta "dentatura", cioè la caratteristica concavità della corona. Tale fase viene raggiunta in termini di DOY sempre prima nel 2003, poi nel 2006, 2004 e nel 2005.



**Figura 4.6.7** Fase BBCH 89 di piena maturazione in cui la granella risulta essere dura e lucente con circa il 65% di sostanza secca

La fase di piena maturazione (4.6.7) viene raggiunta il 6 agosto 2003, dopo soli 112 giorni dalla semina, il 22 agosto 2004 a 144 DOY, il 23 agosto 2005 dopo 154 DOY ed il 25 agosto 2006 dopo 149 giorni dalla semina.

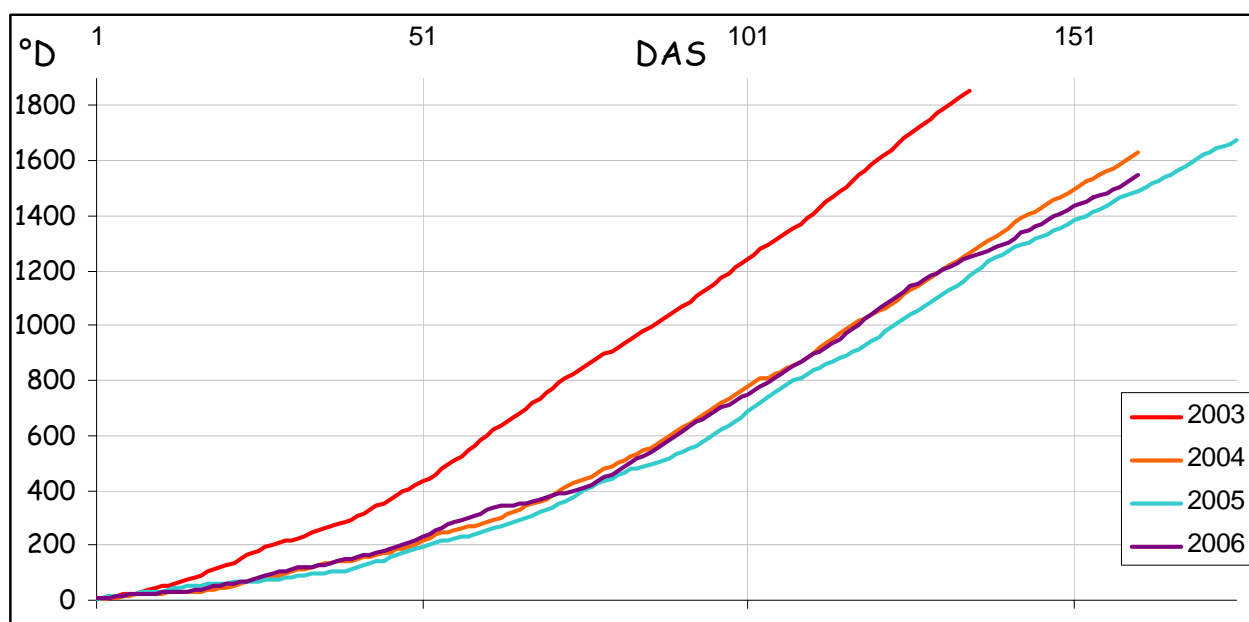
#### 4.6.2 Modello delle somme termiche mediante gradigiorno

Applicando ai dati dei rilievi fenologici il modello delle somme termiche risulterà interessante capire come la temperatura influenzi notevolmente una coltura macroterma come il mais.

Per tale studio si è deciso di utilizzare nel calcolo dei gradi giorno una somma termica accumulata mediante l'approssimazione del triangolo, in quanto si riesce a delimitare un *range* ben preciso nel quale la pianta riesce a sfruttare a pieno le condizioni termiche, risultando pertanto un metodo più accurato rispetto ad una semplice somma termica lineare.

La temperatura di soglia a cui si fa riferimento, il cui valore è comunemente usato in letteratura, è di 10 gradigiorno (°D).

Nel grafico in figura 4.6.8 si mettono a confronto i quattro andamenti termici (calcolati con la somma termica con approssimazione triangolare) dal 2003 al 2006.



**Figura 4.6.8** - Distribuzioni termiche cumulate nei diversi anni fino alla fase di levata BBCH 30.

Risulta lampante la differenza tra il 2003 e gli altri anni. Sapendo, dai calcoli effettuati, che la fase di piena maturazione BBCH 89 viene raggiunta con valori di somme termiche intorno al valore medio di 1450 °D è evidente come tale fase venga raggiunta nel 2003 rispetto agli altri anni i cui andamenti risultano piuttosto simili.

#### 4.6.3 Risultati dei rilievi biometrici

In tabella 4.6.1 sono riportati i principali valori medi biometrici riscontrati nelle quattro differenti annate di sperimentazione nel mais. Le estreme condizioni termiche del 2003 hanno avuto una



evidente ripercussione anche sulla resa finale del mais. Infatti la resa è stata piuttosto bassa rispetto alle altre annate agrarie.

Rilievi Biometrici Finali mais												
Epoca	Investimento	h (cm)	N°	pFn	pFn	pFL	pFn	pSn	pSn	RH%	Resa (t/ha)	peso hl (Kg/hl)
raccolta	unità pte × m2	pianta	spighe	cariossidi	SPIGA	stocchi+tutolo	stocchi+tutolo	cariossidi	stocchi+tutolo	granella	granella	granella
2003	6,45	214,4	1	163,4	195,2	488,6	305,8	163,87	125,8	12,84	10,6	70
2004	6	195,67	1	254,33	290,50	428,41	350,41	243,09	140,00	25,10	14,4	71,2
2005	8	215,33	1	224,72	263,43	550,61	439,65	184,67	162,95	19,33	15,9	74,35
2006	6	232,83	1	280,30	338,05	890,50	765,63	231,66	259,67	17,25	17,4	63
media	6,71	214,56	1	230,69	271,80	602,50	465,37	205,82	172,11	18,63	14,58	69,64

**Tabella 4.6.1** - Scheda riassuntiva delle grandezze biometriche analizzate durante i 4 anni di sperimentazione nel mais.



**Figura 4.6.9** - Fase BBCH 99 di raccolta in cui vengono effettuate tutte le rilevazioni biometriche finali sulla pianta intera e sulle cariossidi. A) Macchina Infra-Tech di prima generazione con cui vengono calcolate in tempo reale il peso ettolitrico e le umidità delle cariossidi. B) Vaschetta di inserimento della granella della macchina. C) Stocchi e tuoli della pianta.

Nel 2004, a quasi parità di peso ettolitrico, sempre piuttosto modesto come nel 2003 e sebbene le piante abbiano mantenuto una dimensione in altezza non proprio esaltante (195 cm), si è registrato una forte ripresa della resa produttiva arrivata alle soglie delle 15 t/ha.

Nel 2005 e nel 2006 le rese sono ulteriormente aumentate facendo registrare però due situazioni piuttosto particolari.

Nel 2005 si è raggiunto un discreto peso ettolitrico (quasi 75 kg/hl) ed una resa di quasi 16 t, mentre nel 2006 ad un peso ettolitrico notevolmente basso, è seguita una resa produttiva molto elevata di oltre 17 t/ha.

Ciò può essere imputato, alle particolari condizioni climatiche in fase di *grain filling*, soprattutto in fase di maturazione cerosa (seconda metà di luglio) e a dei problemi di traslocazione dei nutrienti nel raggiungimento delle spighe, forse poste in posizione particolarmente alta, avendo le singole piante, registrato delle altezze *record* (sfiorati nella media 233 cm all'inserzione dell'ultima foglia).

## **4.7 Visibilità dei risultati**

### **4.7.1 Il report fenologico**

Dopo aver preso nota cartacea direttamente in campo delle fasi fenologiche delle colture è opportuno produrre un file di facile consultazione.

E' stato proposto un foglio di lavoro *access*, attraverso il quale (cap. 3), risulterà semplice ed immediato l'inserimento dei dati fenologici. Dall'inserimento di questi viene fornito dal programma un report finale.

Il foglio riepilogativo dei dati mostra in maniera evidente tutta l'evoluzione fenologica della pianta in funzione delle date di rilievo (fig. 4.7.1). In esso è possibile visualizzare all'interno della pagina *report* la manifestazione dello sviluppo fenologico di due differenti organi di una stessa pianta, questo nel momento in cui si verifichi il sincro evolversi di due fasi fenologiche interessate.

Oltre al riepilogo fenologico è possibile individuare in questo foglio di *output* la presenza di eventuali cambi di rilevatore, parametro non trascurabile, perché potenzialmente condizionante l'obiettività e la bontà del rilievo; possibili errori di osservazione infatti, potrebbero essere pagati a caro prezzo in fase di elaborazione dati e nella calibrazione del modello. Nelle note infine vengono rilevati tutti quei fenomeni od eventi che potrebbero condizionare dall'esterno il naturale succedersi delle fasi fenologiche: il manifestarsi di eventi meteorologici di particolare importanza come tempeste, nevicate o eccezionali estremi termici, oppure operazioni agronomiche che agevolino lo sviluppo delle colture in maniera rilevante (concimazioni, diserbi, irrigazioni..etc..).

Specie	Data	Rilevatore	BBCH1	BBCH2	Note
Orzo	20.04/06	Traini	13		
	27.04/06	Traini	15		
	04.05/06	Traini	16		Ultima settimana con intense precipitazioni: ammontare di circa 40 mm. Temp. i
	11.05/06	Traini	17		
	17.05/06	Traini	19		
	25.05/06	Traini	30		
	31.05/06	Traini	33		
	05.06/06	Traini	34		I temporale del 30.05 ha causato allentamento nell'avena (90 %) e nel duro (15-20
	12.06/06	Traini	36		
	20.06/06	Traini	55		
	29.06/06	Traini	65		
	06.07/06	Traini	67		
	13.07/06	Traini	75		
	18.07/06	Traini	85		
	24.07/06	Traini	85		
	04.08/06	Traini	85		
	17.08/06	Traini	87		
	25.08/06	Traini	89		
	05.09/06	Traini	99		
	14/11/03	Traini	00		
	21/11/03	Traini	07		
	28/11/03	Traini	10		
	05/12/03	Traini	11		attacco lepri

lunedì 12 febbraio 2007

Pagina 24 di 41

Figura 4.7.1 – Report access fenologico

E' di fondamentale importanza che tali fattori esterni vengano costantemente monitorati in quanto possono fortemente condizionare il passaggio da una fase all'altra, determinando anche delle possibili anomalie biologiche, con gravi danni nella resa finale. In ogni caso le annotazioni agronomiche e meteorologiche in senso lato vengono settimanalmente prese dal rilevatore su di un quaderno di campagna già in campo, ciò per ovviare qualsiasi problema di errate interpretazioni o smarrimento dati (fig. 4.7.2).

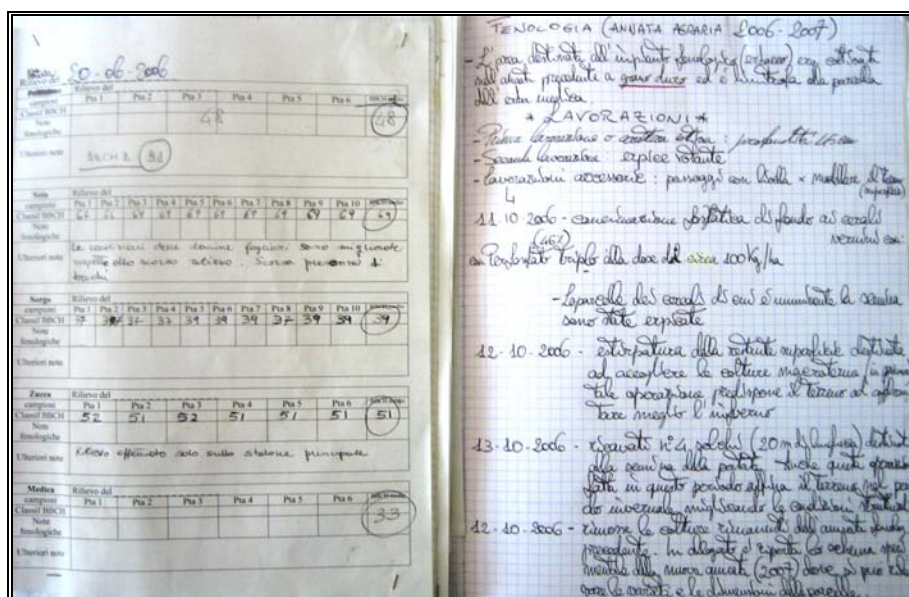


Figura 4.7.2 – due pagine dei quaderni di campagna per le annotazioni agronomiche e fenologiche cartacee



#### 4.7.2 Il bollettino agrofenologico settimanale

Dopo il rilievo e l'immagazzinamento dei dati fenologici all'interno del database access, i risultati ottenuti devono avere in breve termine visibilità per la consultazione. Di fondamentale importanza è quindi la realizzazione di un bollettino settimanale, il quale viene reso pubblico visualizzabile su internet in tempo reale nel sito del DiSTA (Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroambientali) della facoltà di Agraria di Bologna e dall'ARPA-SIM (Agenzia per l'Ambiente dell'Emilia Romagna). In tali bollettini (fig. 4.7.3) i dati e le classificazioni fenologiche sono correlati ad una ricca e dettagliata galleria fotografica che permette di accostare, in maniera evidente e precisa, la descrizione morfo-fisiologica dello stadio fenologico in esame, con una foto panoramica ed una in dettaglio; tutto ciò per ciascuna delle 13 colture in atto.



Fig. 4.7.3 - Esempio di bollettino agrofenologico

Tramite il web la situazione fenologica delle colture più rappresentative dell'Emilia-Romagna è così disponibile per la consultazione *on line* ed in tempo reale da parte di tutti gli interessati. Inoltre all'interno del sito WEB dell'ARPA-SIM è possibile consultare non solo le indicazioni fenologiche, ma anche le previsioni meteorologiche della settimana e le considerazioni agronomiche sulla base di mappe fenologiche sviluppate dal modello ARPA-mod (cap. 1).

## 4.8 Risultati della modellistica

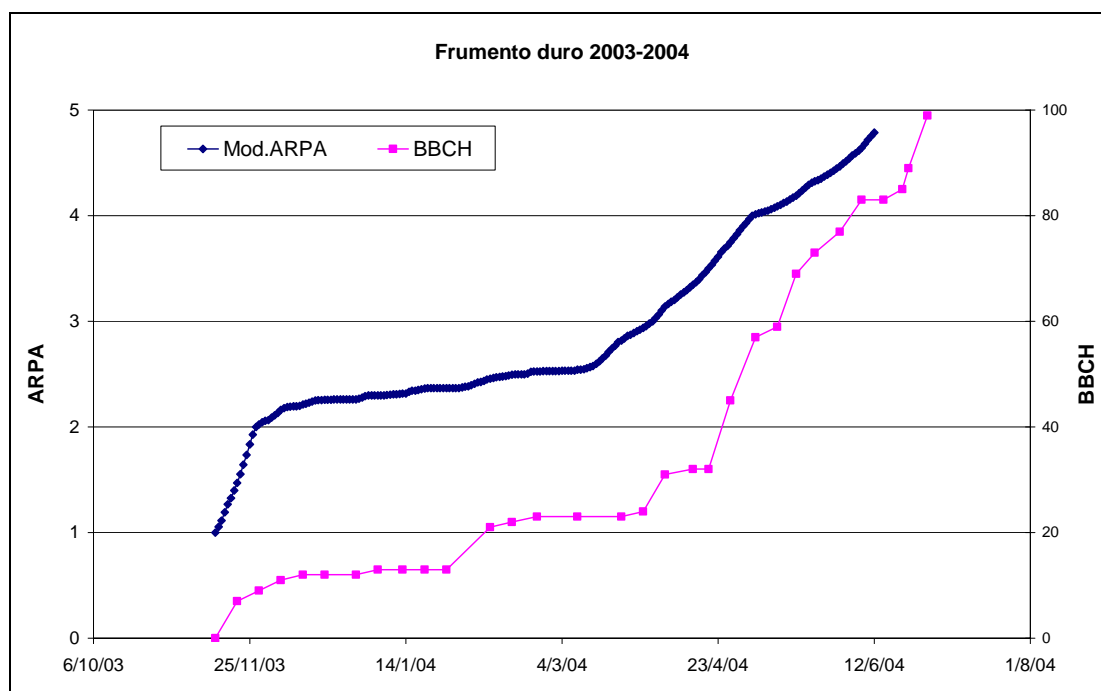
Dalle esperienze delle somme termiche, anche attraverso l'approssimazione del triangolo, si è notato come soprattutto nella parte finale del ciclo biologico della coltura i risultati osservati non coincidevano con quelli simulati, dando adito a scenari feno-termici piuttosto anomali durante gli anni di sperimentazione (cap. 4 par. 2, 3 e 4).

E' stato così presa in considerazione l'opportunità di utilizzare un modello di simulazione fenologica più complesso e frutto di più modelli di base, modificati dall'ARPA-SIM Emilia Romagna (cap. 1 par. 3.1).

I risultati ottenuti sono stati più che soddisfacenti, si sono infatti trovate strette correlazioni tra le interpretazioni del modello e la scala internazionale BBCH, ciò garantirebbe la possibilità di produrre nell'immediato futuro degli *output* del modello in scala BBCH di facile utilizzo interpretativo.

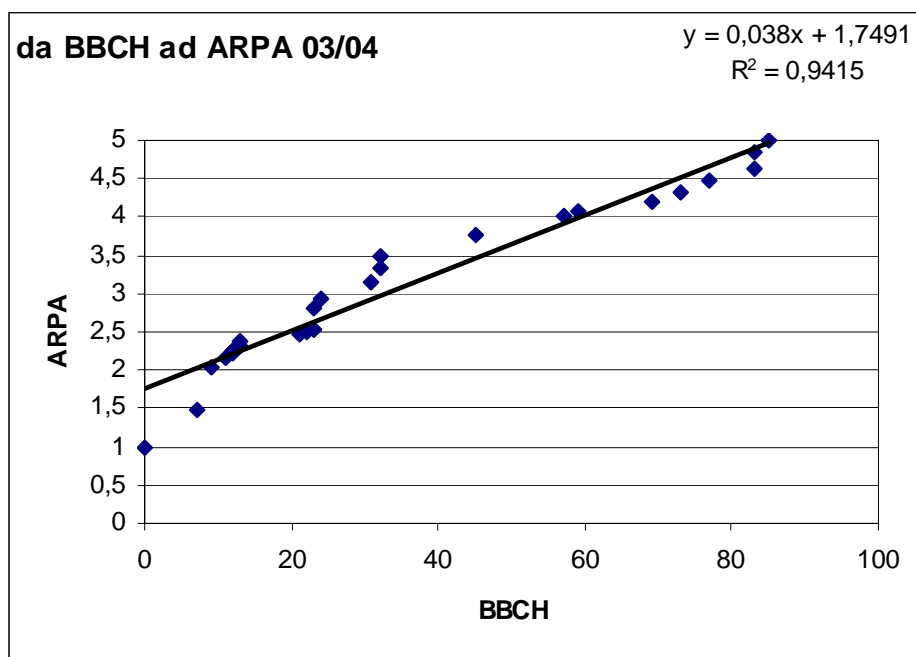
### 4.8.1 Cereali vernini

Mettendo a confronto per l'annata agraria 2003/04 i dati osservati in campo ed i dati prodotti dal modello, si nota che la fase BBCH 85 di maturazione fenologica e la corrispettiva fase 5 simulata, coincidono (fig 4.8.1).



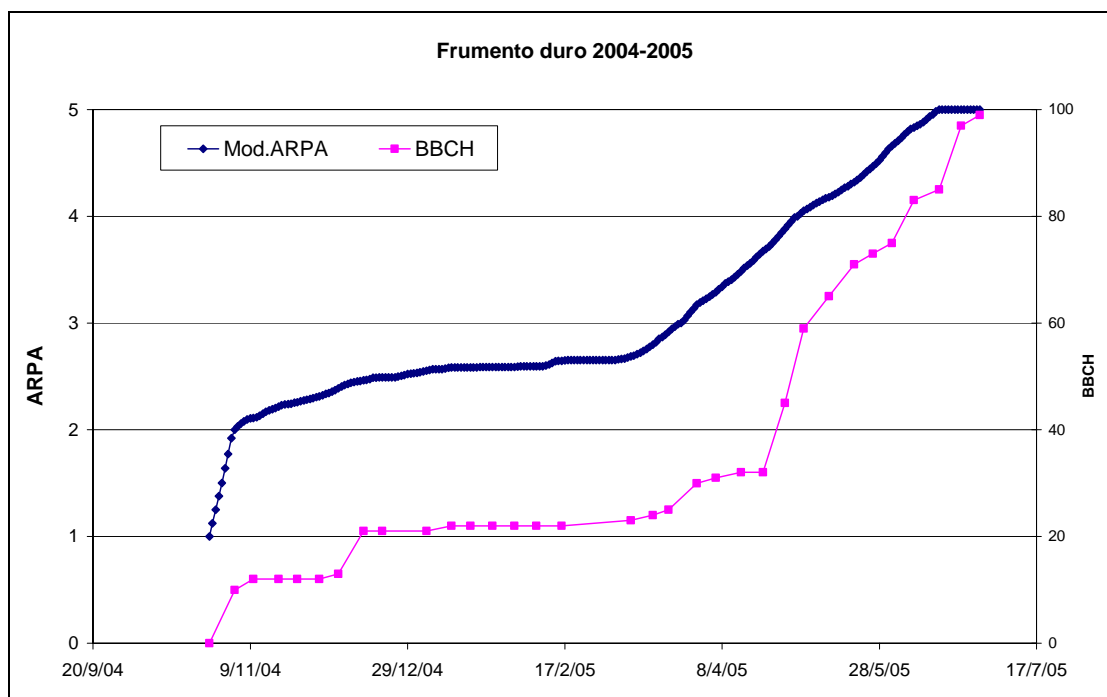
**Figura 4.8.1** Annata agraria 2003/04 del frumento duro: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo

Facendo una correlazione tra tutti i dati osservati in campo e classificati BBCH da una parte e simulati dal modello dall'altra e mettendo le due scale in relazione (fig. 4.8.2), si ottiene una relazione con una buona significatività, utile per la traduzione della scala del modello in BBCH.



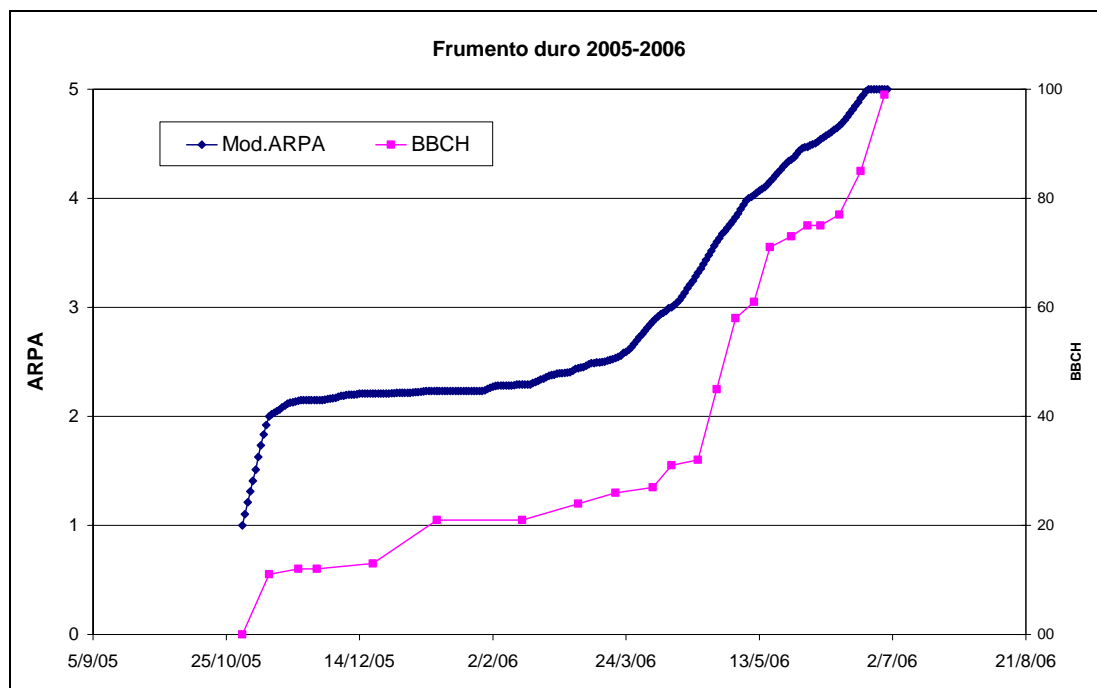
**Figura 4.8.2** – Annata agraria 2003/04: correlazione confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo

I dati raffigurati infatti si scostano di poco dalla linea di tendenza. Si determina così un fattore di regressione lineare  $R^2$  molto elevato (0,94).



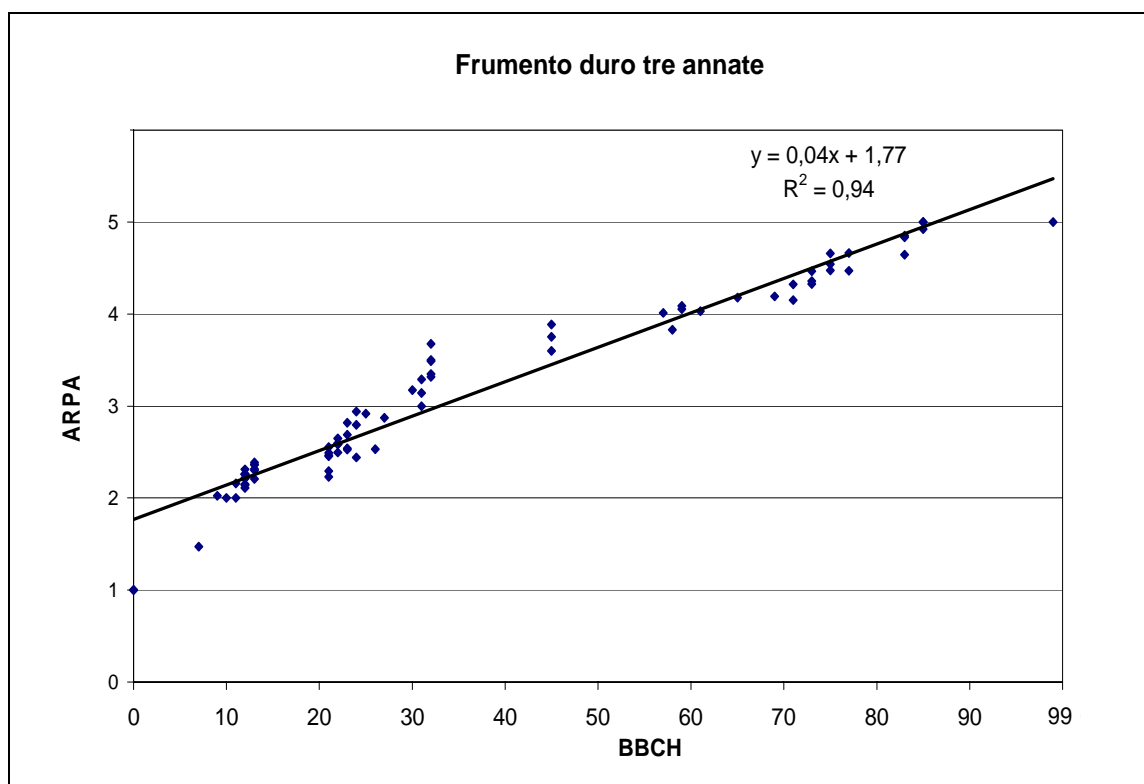
**Figura 4.8.3** Annata agraria 2004/05 del frumento duro: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo

Questo risultato ci ha indotto a ripetere il confronto anche per le successive annate agrarie, come si vede nei grafici di figura fig.4.8.3 per l'anno 2004/05 e 4.8.4 per l'annata 2005/06. Nell'annata agraria 2005/06 invece i dati osservati ed i dati prodotti dal modello per fase BBCH 85 di maturazione fenologica e la corrispettiva fase 5 simulata evidenziano un gap di 3 giorni (fig. 4.8.4).



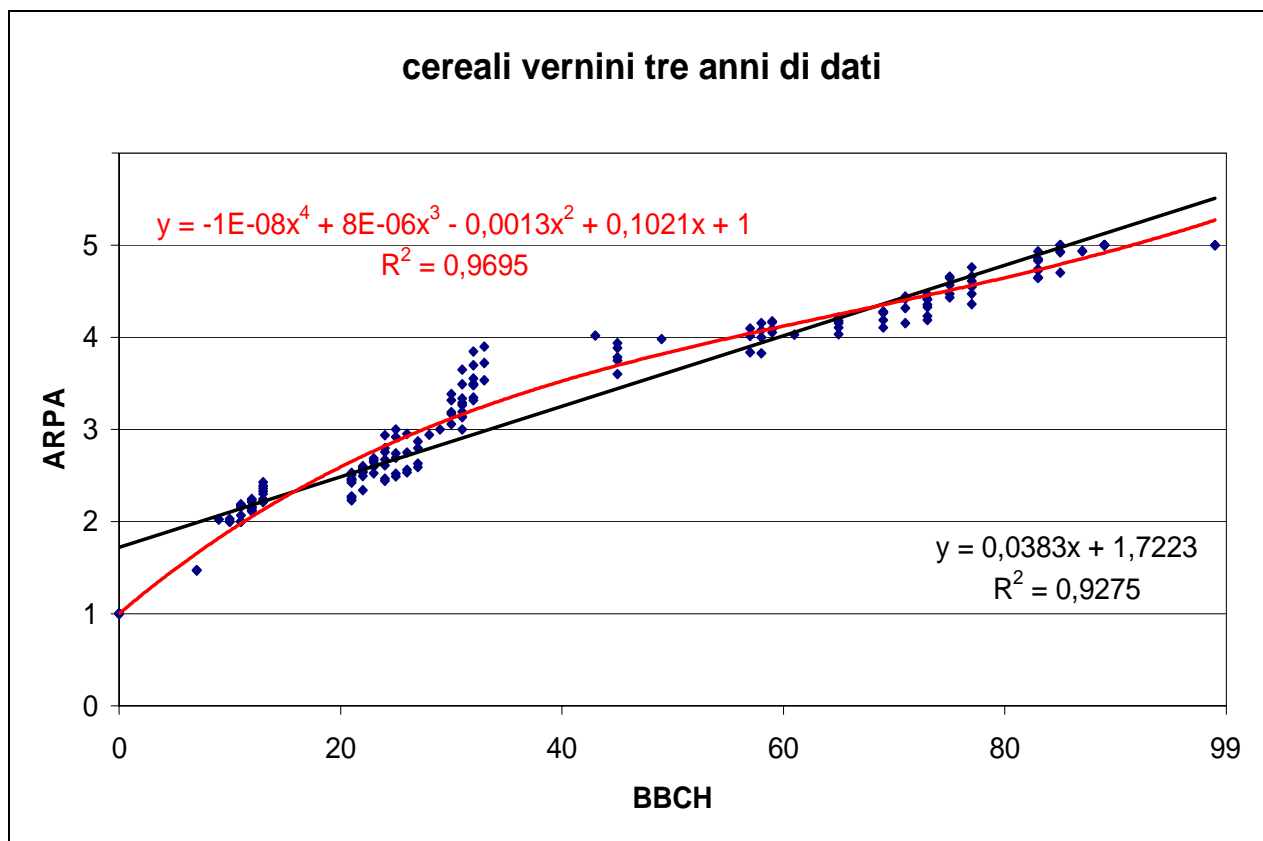
**Figura 4.8.4** - Annata agraria 2005/06 del frumento duro: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAm

Lo stadio di maturazione fisiologica viene rilevato in campo il 23 giugno 2006, mentre il modello lo segnala leggermente in anticipo: il 20 giugno 2006. I dati sperimentali di tutte le annate agrarie sono stati considerati contemporaneamente in confronto con gli *output* del modello, come si vede nella figura 4.8.5, dove le fasi fenologiche del frumento duro espresse nella scala BBCH sono messe in relazione con le fasi fenologiche espresse secondo la scala del modello ARPAm.



**Figura 4.8.5** - Frumento duro: correlazione tra la scala BBCH e quella del modello ARPAm nei tre anni sperimentali

La significatività risulta molto elevata, con un  $R^2$  pari a 0,94. Allargando l'utilizzo del modello ARPA-mod anche agli altri cereali vernini per i quali è stato calibrato, il frumento tenero e l'orzo, si è pensato di utilizzarli per valutare ulteriormente la funzionalità del modello. In figura 4.8.6 sono stati messi in relazione i dati dei tre anni dal 2003 al 2006 dei tre cereali vernini. In tal modo è stata ricavata una relazione semplice tra i dati BBCH delle osservazioni sul campo e quelli corrispettivi prodotti dal modello per ogni fase fenologica. Nel grafico sono visualizzate due linee di tendenza: una lineare, con un  $R^2$  di 0,92 ed una polinomiale (in rosso) con un  $R^2$  di 0,97.

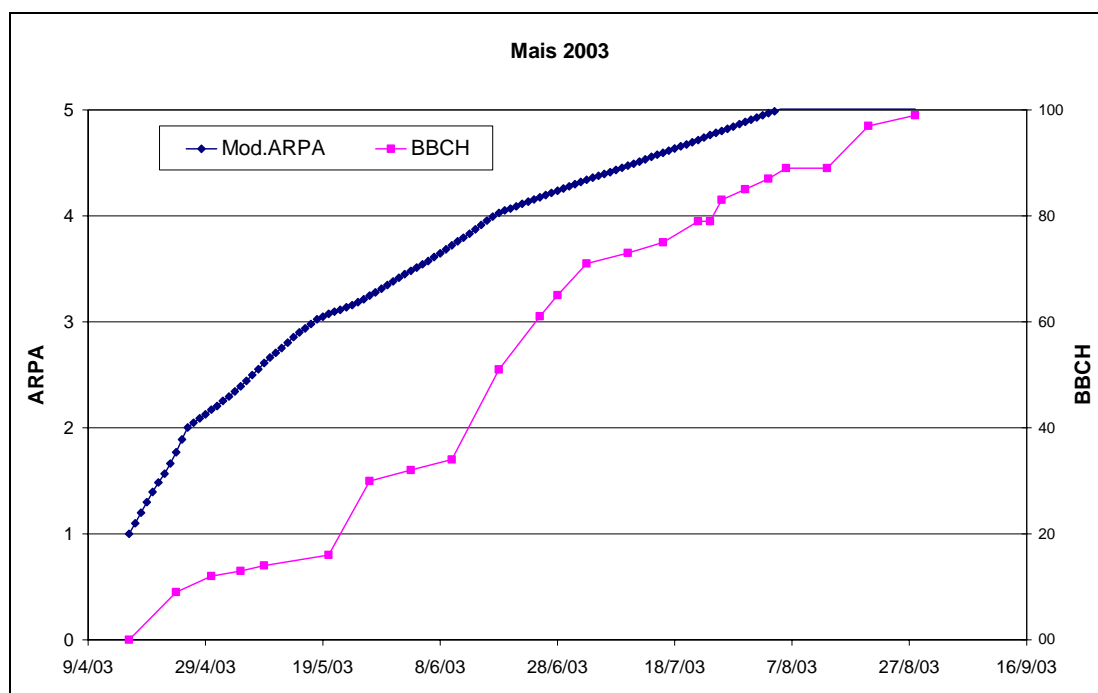


**Figura 4.8.6** - Frumento duro, tenero ed orzo: correlazione tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo nei tre anni sperimentali

#### 4.8.2 Mais

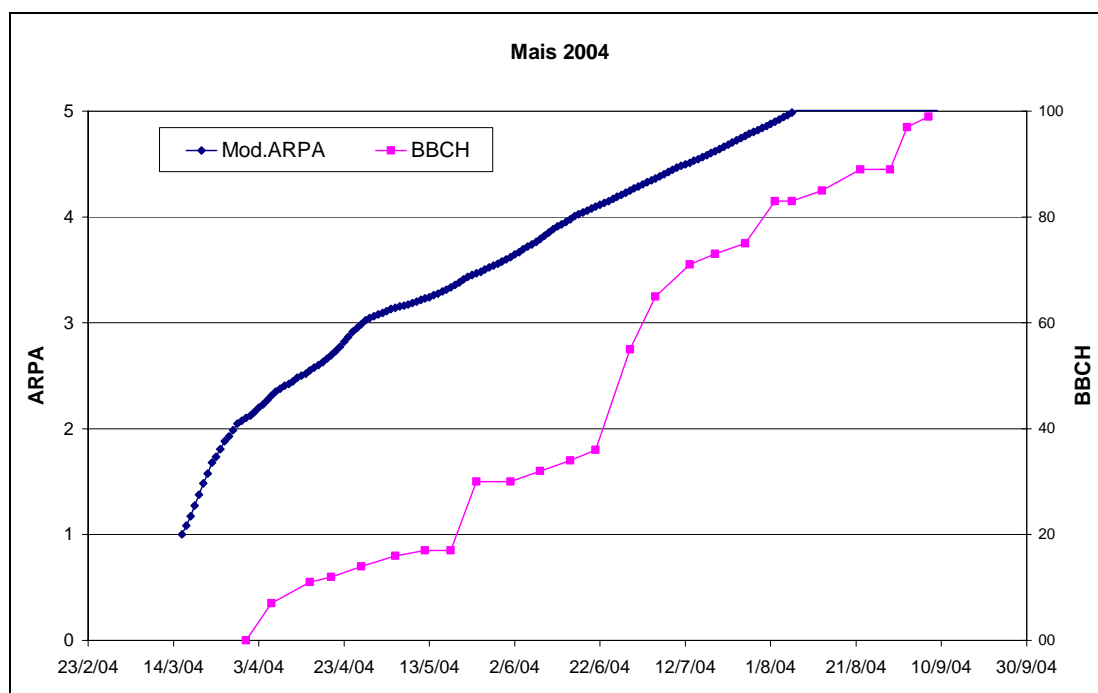
Anche nel mais per ovviare i limiti forniti dalle sommatorie termiche si è deciso di utilizzare il modello ARPAmo, effettuandone la validazione. Inserendo nel programma di simulazione le caratteristiche di classe di ibrido del Mais seminato nei 4 anni di sperimentazione (classe 500), è stato possibile verificare la bontà dei risultati ottenuti. Mettendo a confronto l'annata agraria 2003 dei dati osservati in campo ed i dati prodotti dal modello, si nota che la fase finale 5 rilevata dal modello, non simula come nei cereali vernini il raggiungimento della fase della maturazione fisiologica (nel mais BBCH 87), ma l'antecedente stadio fenologico di piena maturazione cerosa, in cui la pasta delle cariossidi è di color bianco-giallastro (circa il 55% di sostanza secca). Le elevate

temperature del 2003 influenzano fortemente l'anticipo di maturazione cerosa; confrontando il modello con i dati osservati (fig 4.8.9), si nota come ci sia circa una settimana di ritardo del modello (5 agosto 2003), rispetto al dato registrato in campo (30 luglio 2003).



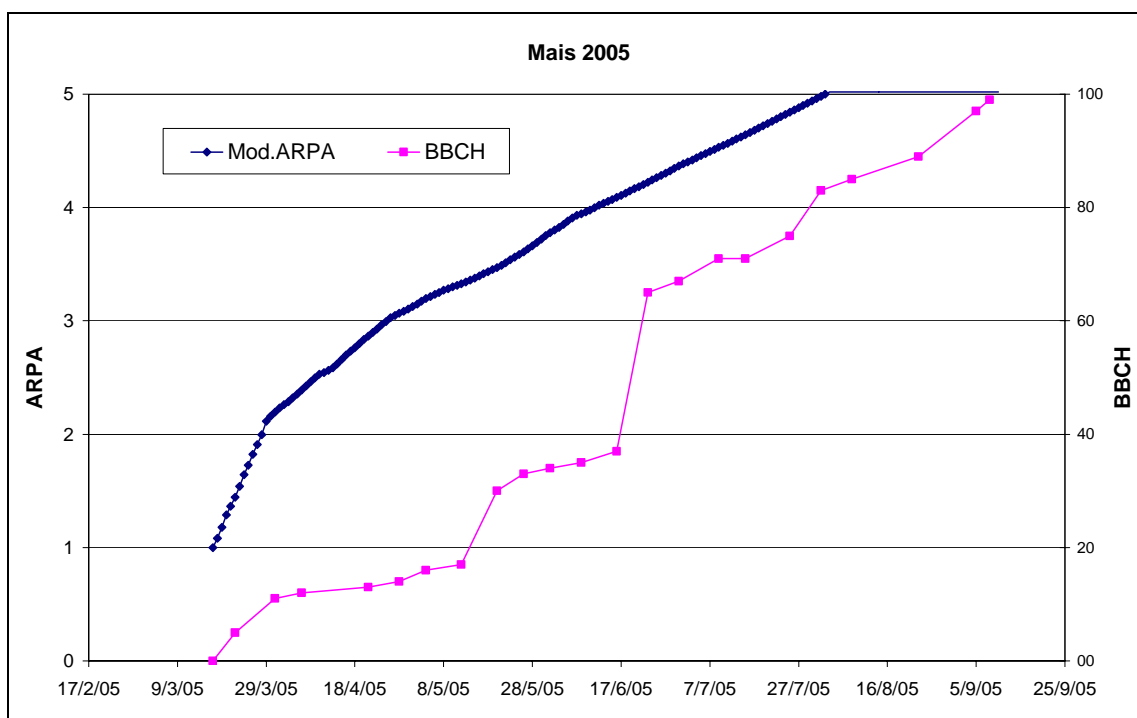
**Figura 4.8.7** Annata agraria 2003 del mais: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAm

Anche nel 2004 il *gap* tra il dato osservato in piena maturazione cerosa ed il valore corrispondente del modello, è ancora di 6 giorni; in questo caso è l'ARPAm che anticipa al 7 di agosto la data effettivamente rilevata in campagna (fig. 4.8.8).



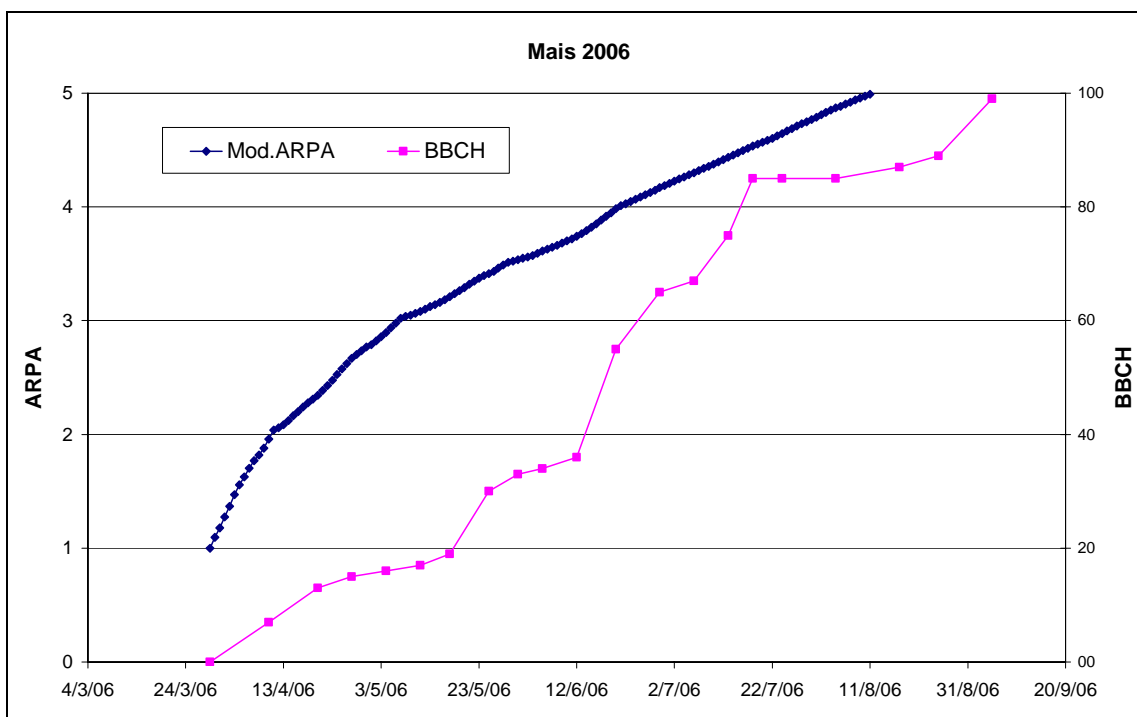
**Figura 4.8.8** Annata agraria 2004 del mais: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAm

Anche nel 2005 (fig.4.8.9) i due dati non coincidono, anche se la differenza si assottiglia a 5 giorni. La fase fenologica viene osservata l'8 di agosto, mentre il modello la anticipa al 3 di agosto.



**Figura 4.8.9** Annata agraria 2005 del mais: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo

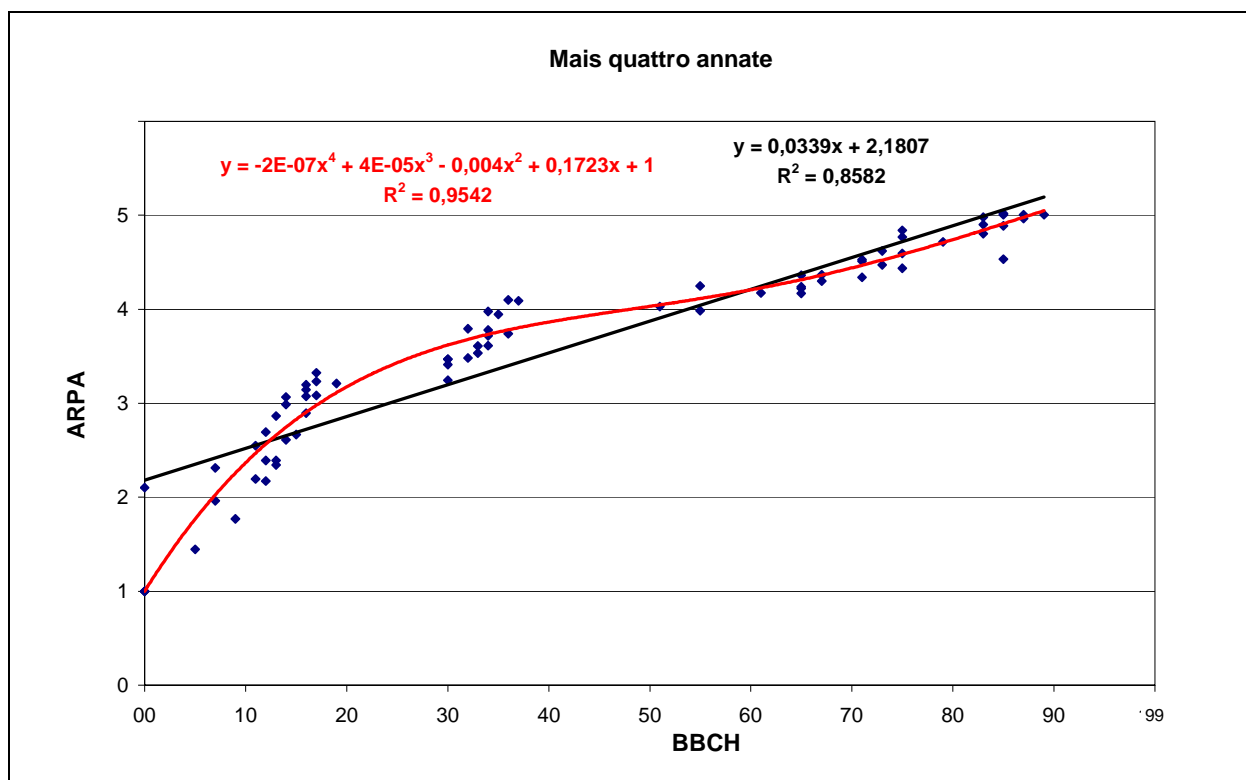
Nell'ultimo anno di sperimentazione, il 2006, il *gap* fenologico tra il dato reale e quello simulato, aumenta nuovamente ritardando di una settimana la fase di maturazione cerosa rilevata il 4 agosto 2006 (4.8.10).



**Figura 4.8.10** Annata agraria 2006 del mais: confronto tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo

Facendo come per i cereali vernini precedentemente, valutando cioè le quattro annate agrarie del mais insieme, si ottengono interessanti risultati.

In figura 4.8.11 sono stati messi in relazione i dati dei quattro anni dal 2003 al 2006 dei quattro mais di classe 500. In tal modo è stata ricavata una relazione semplice tra i dati BBCH delle osservazioni sul campo e quelli corrispettivi prodotti dal modello per ogni fase fenologica.



**4.8.11 - Mais:** correlazione tra la scala BBCH e quella del modello ARPAmo considering i quattro anni di dati sperimentali

Nel grafico sono visualizzate due linee di tendenza: una lineare, con un  $R^2$  di 0,85 ed una polinomiale (in rosso) con un  $R^2$  di 0,95.

Anche nel mais, quindi seppur non con la stessa attendibilità trovata nei cereali vernini, si nota come il modello modificato ARPA-SIM sia altamente efficiente e ci permetta di simulare con una discreta affidabilità il percorso fenologico di un mais di classe FAO 500.



## 5 Conclusioni

Intendere l'agrofenologia significa conoscere a fondo il mondo dell'agricoltura ed esprimerlo scientificamente.

In questo lavoro le osservazioni fenologiche dei cereali vernini e del mais sono state confrontate col metodo delle somme termiche. L'equazione utilizzata è stata quella dell'approssimazione del triangolo. I risultati ottenuti hanno confermato la stretta correlazione tra temperatura e crescita fenologica in tutte le colture esaminate. Tuttavia il più delle volte, si sono rilevate differenze tra dato osservato e somma termica calcolata. Questo fatto porta a voler superare la metodologia delle somme termiche e alla necessità di utilizzare un metodo più analitico.

Infatti è dai risultati termici che ci si rende conto che una fase fenologica, soprattutto se nella parte finale del ciclo biologico di una coltura, non è condizionata esclusivamente dalla temperatura. Ad esempio si è visto nei cereali vernini (Cap.4 par 4.2-3 e 4), che nel 2005 pur con una sommatoria termica maggiore rispetto agli altri anni, le colture hanno raggiunto la maturazione fisiologica in ritardo. Tra febbraio e la prima metà di marzo in effetti (Cap. 4 par.4.1) le colture hanno avuto lo sviluppo rallentato per lunghi periodi, anche per più di 2 settimane, a causa del manto nevoso, condizione che ha evidentemente mantenuto la coltura del frumento al di sotto della soglia termica, nonostante le temperature dell'aria si siano alzate al di sopra di 0°C.

Tale situazione è il tipico esempio in cui si possono delineare dei veri e propri blocchi allo sviluppo, in cui *stress* non imputabili alla sola temperatura condizionano la fenologia di un individuo vegetale.

I risultati ottenuti simulando le osservazioni eseguite in campo nel frumento duro, tenero, orzo e mais, anche se ricavati da un periodo di soli 3 e 4 anni di sperimentazione, sono molto interessanti. L'avena non è stata utilizzata perché non usata precedentemente per la calibrazione del modello (cap.1 par.1.3).

Le osservazioni fenologiche sono state confrontate con gli *output* di un modello utilizzato da ARPA-SIM Emilia Romagna per la produzione di bollettini territoriali. Questo modello utilizza una scala fenologica compresa tra 1 e 5, ben diversa dalla scala BBCH (da 00 a 99) utilizzata internazionalmente per le osservazioni in campo.

Le due scale di classificazione sembrano però trovare un'ottima correlazione, con elevati valori di  $R^2$ , quando confrontate tra di loro. In questo modo, almeno per quel che riguarda i cereali vernini e mais, il modello ARPA potrà produrre le uscite, mediante opportune modifiche, direttamente in scala BBCH.

Inoltre dai risultati ottenuti si ha che il modello è attendibile, soprattutto per quanto riguarda la simulazione della data di apparizione della maturazione fisiologica (BBCH 85) dei cereali vernini nelle annate 2003/04 e 2004/05 in cui la fase 5 (ARPAmod) e la fase 85 (BBCH) coincidono perfettamente.

D'altro canto nel mais i risultati del modello hanno prodotto valori più discontinui.

E' stato utile quindi una ricalibrazione del modello alla fase di maturazione cerosa avanzata (BBCH 85), leggermente antecedente rispetto alla BBCH 87.

Sulla base delle elaborazioni effettuate, e dei risultati ottenuti, si ritiene di consigliare l'applicazione del modello anche ad altre colture, nonché la possibilità di renderlo disponibile ad altri operatori del settore.

Attraverso il modello "ARPAmod" quindi si ha l'ulteriore possibilità di creare delle simulazioni fenologiche nel tempo.

Sicuramente le previsioni a lungo termine saranno abbastanza contingenti, ma riuscire a simulare delle fasi fenologiche anche con una settimana di anticipo, attraverso l'utilizzo delle previsioni meteorologiche, sarebbe davvero un ottimo risultato.

Le aziende agrarie della zona in cui la previsione fenologica viene effettuata, potrebbero conoscere in anticipo le operazioni colturali da attuare.

Nel caso di una previsione a lungo termine, sostituendo nel modello alle temperature registrate fino ad una certa data le temperature massime e minime dei valori medi degli ultimi 55 anni, sarà possibile prevedere uno scenario fenologico di maturazione.

Le piante sono molto sensibili al clima e ne rilevano le variazioni: se da un lato la distribuzione territoriale dei tipi vegetazionali indica la presenza di zone o fasce bioclimatiche e pertanto le specie sono indicatori climatici, dall'altro il ritmo fenologico di singole specie è strettamente dipendente anche dall'andamento meteorologico stagionale. Ne deriva che potenziali cambiamenti climatici determineranno in futuro modifiche sulla distribuzione spaziale delle specie naturali più sensibili e spostamenti temporali nella comparsa delle fenofasi dei vegetali, con probabili conseguenze sulla produttività delle colture e in generale sul paesaggio.

Inoltre una dettagliata conoscenza della fenologia delle piante coltivate permette di effettuare previsioni sulle ripercussioni di eventi meteorologici più o meno favorevoli, o di cambiamenti climatici, e di conseguenza di definire le strategie di coltivazione più opportune considerando le reali potenzialità produttive (Gate 1995).

## 6 BIBLIOGRAFIA

Baker, Ck., Gallagher, Jn., 1983. The development of Winter-Wheat in the field .2. The control of Primordium Initiation Rate by Temperature and Photoperiod. Journal of Agricultural Science 101 (Oct): 337-344.

Baldoni R., Giardini L, 1989. Coltivazioni Erbacee. Patron Editore (Bologna) II edizione ampliata

Barbieri, R., Botarelli, L., Salsi, A., Zinoni, F., 1989. Guida alle rivelazioni agrofienologiche ed alla compilazione delle schede di rilevamento per le colture erbacee ed arboree. E.R.S.A., Bologna, pp 3.

Barbieri, R., Botarelli, L., Salsi, A., Zinoni, F., 1989. Guida alle osservazioni agrofienologiche ed alla compilazione delle schede di osservazione per le colture. E.R.S.A. - Servizio Meteorologico Regionale, Bologna, Italia.

Bertuzzi, F., 2007. Demand-Supply Durum Wheat and futures for current season in UE, intranet - Barilla.

Bindi, M., Casentino, S., Danuso, F., Donatelli, M., Marletto, V., 2002. Modelli di previsione fenologica

Borin, M., Palchetti, C., Schiavon, A., 1996. La rete fenologica del mais (*Zea mays* L.) nella Pianura Veneta. I. Caratteristiche e rappresentazione spaziale. Riv. di Agron., 30 (3 Suppl.), 500-505.

Botarelli, L., Bernati, E., Nieddu, G., Pasquini, A., Sirca, C., Tommasi, D., 1999. Scale di riconoscimento fenologico, Progetto finalizzato PHENAGRI.

Botarelli, L., Bernati, E., Nieddu, G., Sirca, C., Cosentino, S., Ferraresi, A., 1999. La conduzione agronomica ed il rilevamento agrofienologico nelle prove sperimentali, Progetto finalizzato PHENAGRI.

Botarelli, L., Pasquini, A., Del Monte, G., Traini, S., 2006. Il rilevamento agrofenologico: dall'osservazione in campo alla registrazione dei dati, CRA – UCEA, Roma, xx pp.

Botarelli, L., Zinoni, F., Lega, P., Libe', A., 1991. La rete di rilevazione agrofenologica: uno strumento di guida agli interventi fitosanitari. Atti del Convegno Nazionale Agrometeorologia per un servizio regionale, Perugia 26-28 settembre 1990, 7-17.

Brooking, Ir., Jamieson, Pd., Porter, Jr., June 1995. The Influence of daylength on Final Leaf Number in spring wheat. Field Crops Research 41 (3): 155-165.

Brouwer, F.M., 1988. Determination of broad-scale land use changes by climate and soils. Working Paper WP-88-007, Laxenburg, Austria: International Institute for Applied System Analysis.

Cao, W., Moss, D.N., 1997. Modelling phasic development in wheat: a conceptual integration of physiological components. J. Agricult. Sci., Cambridge, 129:163-172.

Chmielewski F.M., Rotzer T., 2001 – Response of tree phenology to climate change across Europe – Agricultural and Forest Meteorology 108, 101-112.

Chmielewski F.M., Rotzer T., 2002 – Annual and spatial variability of the beginning of growing season in Europe in relation to air temperature changes – Clim. Res. 19, 257-264.

Cutforth, H.W., Shaykewich, C.F., 1990. A temperature response function for corn development. Agric. For. Meteorol., 50, 159-171.

Danuso, F e Zanin G., 1989a. Simulazione della dinamica di popolazioni di malerbe annuali in colture erbacee: I. Descrizione del modello WEPOM. Presentato al XXII Convegno annuale della S.I.A., Catania 20-23 settembre 1988. Rivista di Agronomia 23, 4, 466-476.

- Danuso, F., Benati, R., Amaducci, M.T. E., Venturi G., 1987b. Fenologia della soia (*Glycine max* (L.) Merrill): II. Modelli di risposta ai fattori ambientali. *Rivista di Agronomia* n.1, 37-44.
- Daughtry, C.S.T., Cochran, J.C., Hollinger, S.E., 1984. Estimating silking and maturity dates of corn for large areas. *Agron. J.*, 76, 415-420.
- Defila, C., Conedera, M., 2000. Il contributo della fenologia alla discussione sul clima: potenzialità e limiti presentati all' esempio del sud delle alpi della Svizzera..
- Desiderio, E., Monotti, M., 1979. La definizione di precocità degli ibridi. *L'Italia Agricola*, 116, 225-234.
- Dolman, A.J., Ashby, M., Kabat, P., Moors, E.J., Ogink-Hendriks, M., 1996. Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes. Lezione tenuta alla School of climatology and Natural Hazards Climate Change Impacts on Agriculture and Forestry. Volterra 16-23 marzo 1996.
- Fowler, G.A., Kalaris, T.M., Sequeira, R.A., October 2002. Identifying areas at risk for Karnal bunt. *B Am Meteorol Soc* 83 (10): 1469-1469.
- French, V., Hodges, T., 1985. Comparison of crop phenology models. *Agron. J.*, 77, 170-171.
- Gate P., 1995. Quaderni di Bioritmica, n.3, PMA, development and growth of the wheat (*Triticum aestivum* L.), ed. Palombo.
- Gillen, Durum outlook - Analisi del mercato del grano duro, CWB (Canadian Wheat Board), february 2007.
- Goudriaan, J., 1996. Simplifications in Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer (SVAT) models. In *System Analysis and Simulation in Agricultural Sciences: a contribution of the RAISA Project*. Ed. F. Miglietta, J. Goudriaan e H.H. Van Laar, Rome 1996, pp. 21-24.

Goudriaan, J., Van Laar, H.H., 1978. Calculations of daily totals of the gross CO<sub>2</sub> assimilation of leaf canopies. *Neth. J. Agric. Sci.*, 26, 373-382.

Goudriaan, J., Zadocks, J.C., 1995. Global climate change: modelling the potential responses of agro-ecosystems with special reference to crop protection. *Environ. Pollution*, 87, 215-224.

Grant, R.F., 1989. Simulation of maize phenology. *Agron. J.*, 81: 451-457.

Grant, R.F., Frederik, J.R., Hesketh, J.D., Huck, M.G., 1989. Simulation of growth and morphological development of maize under contrasting water regimes. *Can. J. Plant Sci.*, 69, 401-418.

Gray, D., Ward, J.A., Steckel J.R.A., 1980. Growth and development of bush tomatoes in relation to temperature. *J. Agric. Sci. Camb.* 95: 285-292.

Heuer, G.H., Hermann, D.F., McKee, T.B., Benci, J.F., 1978. Predicting winter wheat phenology using temperature and photoperiod. Colorado State University, Climatology Report No. 78-2.

Hodges, T., Evans, D.W., 1992. Leaf emergence and leaf duration related to thermal time calculations in Ceres-Maize. *Agron. J.* 84, 724-730.

Horie, T., Kropff, M.J., Centeno, H.G., Nakagawa, H., Nakano, J., Kim, H.Y., Ohnishi, M., 1995. Effect of anticipated change in global environment on rice yields in Japan. In *Climate change and rice*. Springer, Berlin.

Jamieson, P.D., Porter, J.R., Wilson, D.R., 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. *Field Crop Res.*, 27:337-350. McMaster G.S., Wilhelm W.W., Morgan J.A. 1992. Simulating winter wheat shoot apex phenology. *J. Agriculture. Sci., Cambridge*, 119:1-12.

Jamieson, P.D., Brooking, Ir., Porter, Jr., April 1995. Prediction of leaf appearance in wheat - a question of temperature. *Field Crop Res* 41 (1): 35-44.

Jamieson, P.D., Semenov, M.A., Brooking, I.R., April 1998. Sirius: a mechanistic model of wheat response to environmental variation *Eur J Agron* 8 (3-4): 161-179.

Jarvis, P.G., 1995. Scaling processes and problems. *Plant Cell & Environ.*, 18(10), 1079-1090.

Kimball, B.A., Pinter, P.J., Garcia, R.L., LaMorte, R.L., Wall, G.W., Hunsaker, D.J., Wechsung, G., Wechsung, F., Kartschall, T., December 1995. Productivity and water use of wheat under free-air CO<sub>2</sub> enrichment *Global Change Biology* 1 (6): 429-442.

Kirby, E.J., Appleyard, M., Fellowes, G., 1985. Effect of Sowing date And Variety On Main Shoot Leaf Emergence And Number Of Leaves Of Barley And Wheat *Agronomie* 5 (2): 117-126.

Kirby, E.J., Porter, Jr., Day, W., August 1987. An analysis of primordium initiation in winter-wheat crops with different sowing dates and at 9 sites in England and Scotland. *J Agr Sci* 109: 123-134 Part 1.

Loss, S.P., Perry, M.W., Anderson, W.K., 1990. Flowering times of Wheats in South-Western Australia - A Modeling Approach. *Aust J Agr Res* 41 (2): 213-223.

Marletto, V., 1999. Fenologia vegetale, Progetto finalizzato PHENAGRI.

Mass, S.J., Arkin, G.F., 1980. TAMW: A wheat growth and development simulation model. The Texas Agricultural Experiment Station, Program and model documentation no. 80-3.

McMaster, G.S., Klepper, B., Rickman, R.W., April 1991. Simulation of shoot vegetative development and growth of unstressed Winter-Wheat. *Ecol Model* 53 (3-4): 189-204.

McMaster, G., Smika, E., 1988. Estimation and evaluation of winter wheat phenology in the central great plains. *Agric. For. Meteorol.*, 43, 1-18.

Miglietta, F., July 1989. Effect of photoperiod and temperature on leaf initiation rates in wheat (*Triticum* spp) *Field Crop Res* 21 (2): 121-130.

Miglietta, F., Giuntoli, A., Bindi, M., March 1996. The effect of free air carbon dioxide enrichment (FACE) and soil nitrogen availability on the photosynthetic capacity of wheat. *Photosynthesis Research* 47 (3): 281-290.

Miglietta, F., Hoosbeek, M.R., Foot, J., Gigon, F., Hassinen, A., Heijmans, M., Peressotti, A., Saarinen, T., Van Breemen, N., Wallen, B., January 2001. Spatial and temporal performance of the MiniFACE (Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment) system on bog ecosystems in northern and central Europe *Environmental Monitoring And Assessment* 66 (2): 107-127.

Miglietta, F., Bindi, M., Castellani, M., Maracchi, G., 1993a. Sviluppo ontogenetico del frumento (*Triticum* spp.): I. Influenza di temperatura, fotoperiodo e vernalizzazione. *Riv. Agron.*, 27:484-489.

Miglietta F., Bindi M., Castellani M., Maracchi G., 1993b. Sviluppo ontogenetico del frumento (*Triticum* spp.): II. Modello di simulazione. *Riv. Agron.*, 27:484-489.

Miglietta, F., 1991a. Simulation of wheat ontogenesis: I. Appearance of main stem leaves in the field. *Clim. Res.*, 1, 145-150.

Miglietta, F., 1991b. Simulation of wheat ontogenesis: II. Predicting dates of ear emergence and main stem final leaf number. *Clim. Res.*, 1, 151-160.

Olsen, J.K., McMahon, C.R., Hammer, G.L., 1993. Prediction of sweet corn phenology in subtropical environments. *Agron. J.*, 85, 410-415.



Passioura, J.B., 1996. Simulation models: science, snake oil, education or engineering. *Agron. J.*, 88, 690-694.

Porter, J.R., Kirby, E.J.M., Day, W., Adam, J.S., Appleyard, M., Ayling, S., Baker, C.K., Beale, P., Belford, R.K., Biscoe, V.P., Chapman, A., Fuller, M.P., Hampson, J., Hay, R.K.M., Hough, M.N., Matthews, S., Thompson, W.J., Weir, A.H., Willington, V.B.A., 1987. An Analysis of morphological development stages in Avalon winter wheat crops with different sowing dates and at ten sites in England and Scotland. *J. Agric. Sci. Cambr.*, 109> 107/121.

Porter, J.R., 1984. Modelling stage development in winter wheat. *Aspects of Applied Biology*, 4, 449-455.

Puppi G., 2002. Variabilità fenologica a scala territoriale, Progetto finalizzato PHENAGRI

Ritchie, J.T., 1991. Wheat phasic development. *Modeling Plant Soil Systems, Agron. Monogr.* 31:31-44.

Summerfield, R.J., Roberts, E.H., Ellis, R.H., Lawn, R.J., 1991. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. *Expl. Agric.*, 27, 11-31.

Tollenaar, M., Hunter, R.B., 1983. A photoperiod and temperature sensitive period for leaf number of maize. *Crop Sci.*, 23, 457-460.

U.S.D.A., 1990. EPIC - Erosion/Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. U.S.D.A. Agricultural Research Service, Technical Bulletin Number 1768.

Ventura, F., Nastri, A., Marotti, M., Toderi, G., Rossi, P., 2002a. Effects of air temperature changes on growth and productivity of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) from 1972 to 1999. Proceedings of the First Italian IGBP Conference, "Mediterraneo e Italia nel cambiamento globale: un ponte fra scienza e società", 14-16/11/2002, Paestum (SA), 107-110.

Ventura, F., Rossi, Pisa.P., Ardizzoni, E., 2002b. Temperature and precipitation trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999. *Atmospheric Research* 61, 203-214.

Ventura, F., Traini, S., Gaspari, N., Rossi, Pisa.P., Marletto, V., Zinoni, F., 2006. La prima stazione agrofienologica italiana: installazione e risultati preliminari. *Rivista Italiana di Agrometeorologia* 11 (1), 41-45.

Warrington, I.J., Kanemasu, E.T., 1983a. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. seedling emergence, tassel initiation and anthesis. *Agron. J.*, 75, 749-754.

Warrington, I.J., Kanemasu, E.T., 1983b. Corn growth response to temperature and photoperiod. II. Leaf initiation and leaf appearance rates. *Agron. J.*, 75, 755-761.

Warrington, I.J., Kanemasu, E.T., 1983c. Corn growth response to temperature and photoperiod. III. Leaf numbers. *Agron. J.*, 75, 762-766.

Weir, A.H., Bragg, P.L., Porter, J.R.E., Rayner, J.H., A winter wheat crop simulation model without water or nutrient limitations. *J. Agric. Sci., Camb.*, 102, 371-382.

Wolf et al., 1986. Predicting harvesting date of processing tomatoes by a simulation model. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 111: 11-16.

Zinoni, F., Puppi, G., 1999. La fenologia in agricoltura, Progetto finalizzato PHENAGRI.

## Riferimenti\_WEB

HYPERLINK "[http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP\\_Avena.pdf](http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP_Avena.pdf)"  
[http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP\\_Avena.pdf](http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP_Avena.pdf)

HYPERLINK "<http://www.agriforeste.regione.umbria.it/resources/documenti/11-%20Gruppo%20A.doc>" <http://www.agriforeste.regione.umbria.it/resources/documenti/11-%20Gruppo%20A.doc>

HYPERLINK "<http://www.agriforeste.regione.umbria.it/resources/documenti/11-%20Gruppo%20A.doc>" Gruppo  
A.doc" <http://www.agriforeste.regione.umbria.it/resources/documenti/11-%20Gruppo%20A.doc>

HYPERLINK "<http://www.cialombardia.org/fattoriascuola/C-mais.htm>" <http://www.cialombardia.org/fattoriascuola/C-mais.htm>

HYPERLINK "<http://www.eufic.org/article/it/nutrizione/capire-cibo/artid/origine-pane/>" <http://www.eufic.org/article/it/nutrizione/capire-cibo/artid/origine-pane/>

HYPERLINK "[http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP\\_Avena.pdf](http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP_Avena.pdf)" [http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP\\_Avena.pdf](http://www.parco3a.org/pdf/Manuali/MCPP_Avena.pdf)

HYPERLINK "<http://www.voli.bs.it/valcamonicambiente/monitoraggio/terra/flora/culture/mais.asp>" <http://www.voli.bs.it/valcamonicambiente/monitoraggio/terra/flora/culture/mais.asp>

<http://www.igc.org.uk/en/Default.aspx>

<http://www.uswheat.org/>

<http://www.gcte.org/past-meetings.htm>

<http://www.ipgri.cgiar.org/publications/pdf/762.pdf>

<http://www.cwb.ca/public/en/>

HYPERLINK "<http://www.cialombardia.org/fattoriascuola/C-mais.htm>"  
<http://www.cialombardia.org/fattoriascuola/C-mais.htm>

HYPERLINK "<http://www.voli.bs.it/valcamonicambiente/monitoraggio/terra/flora/culture/mais.asp>"  
<http://www.voli.bs.it/valcamonicambiente/monitoraggio/terra/flora/culture/mais.asp>

HYPERLINK "http://library.wur.nl/camase" http://library.wur.nl/camase ;

HYPERLINK "http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html" http://dino.wiz.uni-kassel.de/ecobas.html

HYPERLINK "http://www.cermis.it/divulgazione/files/GAL\_granturco.pdf"  
http://www.cermis.it/divulgazione/files/GAL\_granturco.pdf

HYPERLINK "http://www.sisonweb.com/portale/1st/prodotti/schedaTabOrzo.php"  
http://www.sisonweb.com/portale/1st/prodotti/schedaTabOrzo.php

HYPERLINK "http://www.sisonweb.com/portale/1st/prodotti/schedaTabFrumentoDuro.php"  
http://www.sisonweb.com/portale/1st/prodotti/schedaTabFrumentoDuro.php

HYPERLINK "http://www.racine.ra.it/irfata/boll31.htm" http://www.racine.ra.it/irfata/boll31.htm 1

HYPERLINK "http://www.sisonweb.com/portale/1st/upload/prodotti/pdf/SIS\_CEREALI%20MINORI.pdf"  
http://www.sisonweb.com/portale/1st/upload/prodotti/pdf/SIS\_CEREALI%20MINORI.pdf

**Stazione Agrofenologica di Cadriano (Bo)**

(Lat 44°35' / Long 11°27')

**rilievi e classificazioni a cura di Simon Traini e Nicola Gaspari**

**Rilievo Fenologico del 5 giugno 2006**

➤ Andamento Climatico

Nell'ultima settimana, le instabili condizioni meteorologiche hanno delineato un quadro climatico inconsueto per i valori standard del periodo. Nei giorni 30 maggio e 2 giugno si sono avute copiose precipitazioni, anche a carattere temporalesco, per un ammontare complessivo di oltre 44 mm di pioggia. Tali rovesci, associati all'arrivo di aria fredda dall'atlantico, hanno favorito un notevole abbassamento delle temperature, soprattutto nei valori minimi ( 4,3°C nella notte del 31 maggio).

➤ Considerazioni Agronomiche

Il temporale del 30 maggio ha causato allettamento nei cereali vernini; principalmente l'**avena**, molto più alta ed esile rispetto alle altre colture, ha subito gravemente questo problema, manifestando un allettamento totale dei culmi. Le basse temperature, nettamente al di sotto delle medie stagionali, hanno provocato un rallentamento nella maturazione delle cariossidi nei cereali ed in generale nello sviluppo fenologico delle altre colture; solo **pomodoro** e **patata**, favoriti dall'ingente apporto idrico, hanno evidenziato buoni progressi nella vigoria vegetativa e nella differenziazione dei tuberi.

➤ Fenologia delle colture

Orzo:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **MATURAZIONE CEROSA**: il 60% delle piante osservate presenta le spighe in piena maturazione cerosa; le cariossidi hanno raggiunto un contenuto notevolmente pastoso, anche se rimangono ancora abbastanza morbide ( incidendole con un unghia non vi rimane alcun segno).



Traduzione in scala **BBCH: 85**



Frumento tenero:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **MATURAZIONE LATTEA**: circa il 90% delle cariossidi osservate è nella fase di fine maturazione lattea; esse infatti hanno raggiunto le dimensioni massime finali, si presentano di colore giallo verde ed hanno un contenuto ancora leggermente lattiginoso.



Traduzione in scala BBCH: 77

Frumento duro:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **MATURAZIONE LATTEA**: circa il 90% delle cariossidi osservate è nella fase di metà maturazione lattea; esse infatti hanno raggiunto le dimensioni finali, si presentano di colore verde ed hanno un contenuto piuttosto lattiginoso.



Traduzione in scala BBCH: 75



Avena:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **MATURAZIONE LATTEA**: circa il 60% delle piante osservate presenta le cariossidi all'inizio dello stadio di maturazione lattea.



Traduzione in scala **BBCH: 73**

Bietola:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **CROP COVER** (copertura vegetale); tale copertura risulta essere massima: le lamine fogliari coprono totalmente la superficie del terreno su cui insistono.



Traduzione in scala **BBCH: 39**



Patata:

tale coltura si trova nella fase fenologica principale di **FORMAZIONE dei TUBERI**, dall'analisi della quale si evince, mediamente, che la massa totale fino ad ora prodotta, rappresenta circa un 60% della massa dei tuberi finale. Il rapporto tra il peso fresco dell'apparato aereo ed il peso dei tuberi risulta a favore della massa ipogea, al contrario dei rilievi precedenti.



**BBCH: 46**

Girasole:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **EMISSIONE delle INFIORESCENZE**: il 60 % delle piante osservate presenta l'infiorescenza separata dalle foglie più giovani.



Traduzione in scala **BBCH: 55**



Mais:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **LEVATA**: tutte le piante in analisi evidenziano la presenza di 4 nodi ben distinguibili al tatto.



Traduzione in scala BBCH: 34

Pomodoro:

tutti i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **FIORITURA**: almeno un fiore aperto nella quinta infiorescenza.



Traduzione in scala BBCH: 65



Soia:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **EMISSIONE delle INFIORESCENZE**: nel 60% delle piante campione sono presenti i primi petali; gli abbozzi fiorali sono appena aperti.



Traduzione in scala **BBCH: 59**

Sorgo:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **LEVATA**: il 90 % delle piante campione osservate presenta almeno un nodo sul fusto principale.



Traduzione in scala **BBCH: 31**



Medica:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **FIORITURA**: la coltura *in toto*, presenta circa il 20% dei fiori aperti.



Traduzione in scala **BBCH: 62**

Zucca:

i campioni analizzati sono classificabili nella fase fenologica principale di **EMISSIONE degli STOLONI LATERALI**: nel 70% dei campioni osservati si evidenzia il continuo allungamento dello stolone principale e la presenza del secondo getto laterale.



Traduzione in scala **BBCH: 22**



## Ozzano dell'Emilia (Bo)

(Lat 44°24'03 " / Long 11°28' 26")

### Rilievo Fenologico del 31 maggio 2006

rilievi e classificazioni a cura di *Simon Traini e Nicola Gaspari*

#### Vite:

I campioni osservati delle varietà di Cabernet e Chardonnay stanno attraversando la fase fenologica della **Fioritura**: le corolle a forma di cappuccio (caliptre), spinte verso l'alto dagli stami, si distaccano dal ricettacolo.



Traduzione in scala BBCH: 67





Chardonnay



Chardonnay

Traduzione in scala BBCH: 64